



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: EVALUACIÓN DE HORMIGONES CON ALTO
CONTENIDO DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ
Nº200**

AUTORES:

NOHEMÍ DEL ROSARIO CASTRO VEGA

JOSÉ ANTONIO PAREDES ALBUJA

QUITO, MAYO 2015

DEDICATORIA

A mis padres en el cielo, a mis hermanos y a mis sobrinos

NOHEMÍ CASTRO V.

A mis padres, mis hermanos, mis sobrinos y a Cecilia

JOSÉ PAREDES A.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a nuestros profesores, por haber tenido la paciencia de guiarnos durante tanto tiempo, especialmente a los ingenieros Lauro Lara C., Juan Carlos Montero y Gustavo Yáñez.

Nohemí Castro V.

José Paredes A.

RESUMEN

Las arenas naturales y de trituración, empleadas en la ciudad de Quito para la elaboración de hormigón, en muchos casos sobrepasan el contenido máximo permitido de material fino que pasa por el tamiz N°200, por lo cual se ha estudiado el impacto que ese contenido excesivo de material fino provoca en las propiedades mecánicas del hormigón. También se ha elaborado metodología gráfica y sistematizada para los ensayos de laboratorio en hormigón y sus componentes

ABSTRACT

Natural and crushed sands, used in Quito city for concrete elaboration, exceed in many cases the allowed maximum content of fines passing through #200 sieve, by this means the impact of this excessive fines content was studied, in concerns of concrete mechanics properties. For the concrete and its components, graphic and systematic methodology was made for laboratory tests.

INTRODUCCIÓN

El hormigón de cemento hidráulico es el material estructural más empleado en construcción de edificaciones en el Ecuador y en muchos países del mundo, ya que es económico y muy versátil en su manejo, fácil de preparar, transportar y colocar. Normalmente no es tóxico ni peligroso al contacto en condiciones normales de colocación. Su capacidad de resistencia es alta respecto al costo. Al combinarse con el acero, formando hormigón armado, se logra superar su baja resistencia a la tracción, cortante y torsión, convirtiéndolo en un material compuesto apto para la construcción de estructuras sismoresistentes y como dijimos anteriormente a un costo muy competitivo.

En nuestro medio el cemento se fabrica bajo estándares adecuados de calidad, en fábricas que tienen larga trayectoria de producción y su comportamiento es muy predecible bajo las normas locales e internacionales. Con los agregados pétreos no ocurre lo mismo necesariamente, ya que los yacimientos a veces no proporcionan material de la calidad adecuada para cumplir con las normas, o bien los procedimientos de explotación no permiten obtener la calidad requerida de los materiales.

Uno de los aspectos más preocupantes es el excesivo contenido de material fino que pasa por el tamiz N°200, especialmente en el agregado fino, y que normalmente excede al máximo permitido para la elaboración de hormigones, por lo que su incidencia en su desempeño, especialmente su resistencia a la tracción se estudia en esta disertación.

En la Facultad de Ingeniería, escuela de Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador se realizó un estudio previo en la disertación de grado del ingeniero Roberto Gabriel Unda Duque, en 1986 titulado “Influencia del material fino que pasa

por el tamiz N°200 en la resistencia a la compresión del hormigón”, no se han realizado estudios posteriores en la Facultad sobre el tema hasta la fecha, por lo que la actual disertación se circunscribirá a la actualización de este asunto, analizándolo con materiales empleados en la actualidad tales como el cemento Portland compuesto y los agregados disponibles en esta época.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño del hormigón en estado fresco y endurecido cuando presenta alto contenido de materiales finos que pasan por el tamiz N°200 en el agregado fino.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la incidencia que tiene el alto contenido de material fino en la resistencia a la compresión del hormigón, y si es posible, elaborar una expresión empírica que las relacione.
- Buscar alguna relación para los otros parámetros mecánicos en el hormigón endurecido en referencia al módulo de elasticidad a compresión, módulo de ruptura y porcentaje de agregado grueso fragmentado en ensayos de flexión de viguetas y tracción directa por el método brasileño.
- Realizar esquemas gráficos de los procedimientos para los ensayos en agregados y cemento, que tiendan a dar una explicación clara de cómo realizar estas pruebas.
- Elaborar plantillas de cálculo con programas en macros para la dosificación de mezclas de concreto y para los ensayos mecánicos de compresión de cilindros.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN	v
OBJETIVO GENERAL	vi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	vi
INDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xxiv
BIBLIOGRAFIA	328

INDICE

CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Nociones básicas de las propiedades del hormigón hidráulico	1
1.1.1 Facilidad de colocación.....	1
1.1.2 Consistencia	1
1.1.3 Homogeneidad	2
1.1.4 Aire incluido.....	3
1.1.5 Resistencia mecánica	3
1.1.6 Módulo de elasticidad	4
1.1.7 Impermeabilidad	4
1.1.8 Flujo plástico.....	4
1.1.9 Deformación térmica.....	5
1.1.10 Reactividad Cemento Agregado	5
1.2. Criterios de diversas entidades sobre el contenido de finos en el hormigón. 6	
1.2.1 Norma ecuatoriana de la construcción NEC y MOP	6
1.2.2 Instituto Americano del Concreto ACI	7
1.2.3 Instrucción EHE-2008. Ministerio de Fomento, España	7
1.2.4 Influencia de finos en mezclas de concreto. Por Dr. Hadassa Baum y Dr. Amnon Katz.....	9
1.2.5 Efecto de los finos de limo en las propiedades del concreto.....	11
1.3. Extracto de conclusiones de las monografías anteriores.	13
1.3.1 “Influencia del contenido del material fino que pasa por el tamiz #200 en la resistencia a la compresión del hormigón”	14

1.3.2	“Hormigones con cementos especiales: Estudio comparativo entre acelerantes y capeado”	15
1.3.3	Determinación del contenido de aire atrapado y sus consecuencias en el hormigón, utilizando cemento portland puzolánico tipo IP	16
1.3.4	Influencia de la inclusión de aire en la resistencia mecánica y en la trabajabilidad del hormigón.	17
1.3.5	La abrasión en los agregados y su influencia en el hormigón.....	18
1.3.6	Hormigón Autocompactante	20
CAPÍTULO 2.....		22
ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE PIFO, PINTAG Y POMASQUI.....		22
2.1.	Memoria de procedimientos de obtención y almacenaje	22
2.1.1	Descripción de las canteras	22
2.1.2	Procedimientos de obtención	26
2.1.3	Cantidad necesaria de agregados	27
2.1.4	Procesamiento del material	29
2.2.	Granulometría por mallas	30
2.2.1	Conceptos básicos:	30
2.2.2	Equivalencia de tamices	33
2.2.3	Normas de distribución granulométrica agregado grueso.....	35
2.2.4	Normas de distribución granulométrica agregado fino.....	37
2.2.5	Granulometría para los agregados gruesos de las minas estudiadas. ...	37
2.2.5.1.	Mina de Cusuco	37
2.2.5.2.	Mina de Rumicucho.....	38
2.2.5.3.	Mina de Pifo, Agregados Rocafuerte.....	39
2.2.5.4.	Mina de ByP Internacional, El volcán 1	39
2.2.6	Granulometría para los agregados finos de las minas estudiadas.	40
2.2.6.1.	Mina de Cusuco	40
2.2.6.2.	Mina de Rumicucho.....	41
2.2.6.3.	Mina de Pifo, Agregados Rocafuerte.....	42
2.2.6.4.	Mina de ByP Internacional, El volcán 1	43
2.3.	Material fino que pasa por el tamiz N°200	44
2.3.1	Procedimiento de ensayo.....	44
2.3.2	Resultados de los ensayos	45
2.4.	Gravedad específica y absorción	46

2.4.1	Procedimiento	46
2.4.2	Gravedad específica y absorción del agregado grueso, resultados	47
2.4.3	Gravedad específica y absorción del agregado fino, procedimiento....	48
2.4.4	Gravedad específica y absorción del agregado fino, resultados	49
2.5.	Peso unitario	49
2.5.1	Peso unitario del agregado grueso.Resultados	51
2.5.2	Peso unitario del agregado fino. Resultados	51
2.5.3	Porcentaje de vacíos en los agregados.	52
2.6.	Contenido de terrones de arcilla	53
2.6.1	Resultados para el agregado grueso	56
2.7.	Durabilidad del agregado grueso y fino al ataque de sulfatos	57
2.7.1	Resultados de los ensayos	59
2.8.	Contenido orgánico del agregado fino.	60
2.8.1	Resultados de los ensayos	61
2.9.	Ensayo de abrasión del agregado grueso.	61
2.9.1	Resultados de los ensayos	64
2.10.	Equivalente de arena.....	64
2.10.1	Preparación de la solución concentrada	65
2.10.2	Preparación de la muestra	65
2.10.3	Procedimiento para el ensayo.....	67
2.10.4	Resultados de los ensayos	68
2.11.	Sumario de características y elección de la cantera.....	68
CAPÍTULO 3.....		71
ANÁLISIS EN EL CEMENTO Y MORTEROS.....		71
3.1.	Características anunciadas por el fabricante.....	71
3.1.1	Definición de cemento	71
3.1.2	Historia del cemento	71
3.1.3	Características anunciadas por el fabricante.	72
3.2.	Gravedad específica del cemento.	74
3.3.	Análisis químico de constituyentes	76
3.4.	Finura Blaine.	80
3.4.1	Determinación de la finura usando el aparato de Blaine.....	80
3.4.2	Determinación del volumen aparente.....	84
3.4.3	Determinación de la superficie específica.....	84
3.5.	Tiempo de fraguado y consistencia normal.....	85
3.6.	Ensayo de compresión y tracción de morteros	87
3.7.	Comparación con análisis de laboratorio del fabricante.....	92
CAPÍTULO 4.....		93
DOSIFICACIÓN Y DISEÑO DE LAS MEZCLAS.		93
4.1.	Procedimientos previos y metodología.	93
4.2.	Proporcionamiento recomendado por ACI y otros métodos.	94

4.2.1	Método ACI 211.91	94
4.2.1.1.	Elección del asentamiento	95
4.2.1.2.	Elección del tamaño máximo del agregado grueso (TMA).....	96
4.2.1.3.	Estimación del agua de mezclado y aire atrapado	96
4.2.1.4.	Elección de la relación agua-cemento	97
4.2.1.5	Cálculo del contenido de cemento	100
4.2.1.6.	Estimación del contenido de agregado grueso “Los agregados	100
4.2.1.7.	Estimación del contenido de agregado fino	101
4.2.1.8.	Ajustes por el contenido de humedad del agregado	102
4.2.1.9	Ajustes en la mezcla de prueba	103
4.2.2	Método de Weymouth y Fuller	103
4.2.2.1.	Ámbito	103
4.2.2.2	Distribución granulométrica.	103
4.2.2.3	Agua de mezcla.....	104
4.2.2.4.	Mezcla de agregados.....	105
4.2.3	Método de Bolomey	107
4.2.4	Método de Faury	110
4.2.4.1.	Tamaño máximo del árido.	110
4.2.4.2.	Efecto Pared.....	111
4.2.4.3.	Distribución granulométrica	116
4.2.4.4.	Volumen de huecos.....	120
4.2.4.5.	Determinación de las cantidades de materiales	123
4.3.	Comparación de dosificaciones anteriores realizadas en el laboratorio....	124

4.3.1	Influencia del Material Fino que Pasa por el Tamiz N°200 en la Resistencia a la Compresión del Hormigón.....	124
4.3.2	Determinación del contenido de aire atrapado y sus consecuencias en el hormigón, utilizando cemento portland puzolánico tipo IP.....	132
4.3.3	Influencia de la inclusión de aire en la resistencia mecánica y trabajabilidad del hormigón.....	135
4.3.4	Abrasión en los agregados y su influencia en hormigones.....	138
4.3.5	Hormigón Autocompactante.....	142
4.4.	Realización de dosificaciones propuestas con incorporación de material fino.	143
4.4.1	Consideraciones sobre la distribución granulométrica:.....	143
4.4.2	Consideraciones sobre el agua de mezcla y curado.....	145
4.4.3	Determinación del agua neta.....	147
4.4.4	Relación agua cemento.....	152
4.4.5	Programa de dosificación de hormigones.....	155
4.5.	Obtención del asentamiento y peso unitario.....	172
4.6.	Reestimación de la mezcla.....	175
4.7.	Obtención del porcentaje de aire atrapado.....	180
CAPÍTULO 5.....		183
ENSAYOS MECÁNICOS EN EL HORMIGÓN.....		183
5.1.	Metodología.....	183
5.2.	Procedimientos previos.....	184
5.3.	Pruebas de compresión de cilindros.....	185
5.3.1	Procesamiento de la información.....	186
5.3.2	Instrucciones para ingresar datos.....	188
5.3.3	Resultados de los ensayos de compresión de cilindros.....	192
5.4.	Flexión de viguetas.....	241
5.5.	Ensayo directo de tracción por el método brasileño.....	256
5.5.1	Procedimiento.....	256
5.5.2	Resultados de los ensayos a tracción.....	258
CAPÍTULO 6.....		271
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		271
6.1.	Propiedades de los agregados.....	271
6.2.	Resistencia a la compresión.....	272
6.3.	Resistencia a flexión.....	276
6.4.	Resistencia a tracción.....	277
6.5.	Módulo de elasticidad.....	278
6.6.	Relación entre contenido de finos y resistencia.....	280
6.7.	Curvas relación agua cemento.....	281
CAPÍTULO 7.....		285
COSTOS.....		285

7.1. Precios de los materiales	285
7.2. Precio unitario para hormigones por materiales y resistencia	286
CAPÍTULO 8.....	290
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	290
8.1. Conclusiones	290
8.2. Recomendaciones	292
CAPÍTULO 9.....	294
ANEXOS.....	294
9.1. ANEXO 1 Fórmula módulo granulométrico	294
9.2. ANEXO 2 Valor del módulo granulométrico teórico de Fuller	298
9.3. ANEXO A3 Agua neta método ACI.....	299
9.4. ANEXO 4 Cálculo del volumen de aire atrapado según ACI.....	306
9.5. ANEXO 5 Agua neta método de Fuller	307
9.6. ANEXO 6 Agua de mojado Bolomey	308
9.7. ANEXO 7. Relación agua cemento.....	309
9.8. ANEXO 8. Volumen de ripio según ACI.....	313
9.9. ANEXO 9. Funciones de interpolación.....	315
Gráfico A8. Interpolación lineal	315
• ANEXO 10. Tabla 6.3.3 y A1.5.3.3 ACI 211.1	317
9.10. ANEXO 11. Conversión serie de Tyler a métrico.....	319
9.11. Anexo 12 Programa de dosificación	320

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Porcentaje máximo permitido de material fino que pasa por el tamiz N°200.....	6
Tabla 1.2 Contenido máximo tolerable de otros materiales perjudiciales.	6
Tabla 1.3 Huso granulométrico del árido fino, instrucción EHE.....	8
Tabla 1.4 Porcentaje máximo de material que pasa tamiz 0.063mm (N°240).....	8
Tabla 1.3 Composición, asentamiento, resistencia y penetrabilidad a cloruros.....	12
Tabla 1.3 Características del agregado grueso de las minas.	18
Tabla 1.4 Características del agregado fino de las minas.	19
Tabla 1.5 Resistencia del hormigón vs. porcentaje de abrasión.	20
Tabla 2.1 Volumen de hormigón necesario	28

Tabla 2.2 Volumen de ripio suelto necesario.....	28
Tabla 2.3 Volumen de arena suelta necesaria	28
Tabla 2.1 Listado de tamices para las normas internacionales:	34
Tabla 2.2 Normas de distribución granulométrica agregado grueso.....	35
Tabla 2.3 Porcentaje que pasa los tamices según AASHO T 27 e INEN 872.	37
Tabla 2.4 Granulometría agregado grueso mina de Cusuco	37
Tabla 2.5 Granulometría agregado grueso mina de Rumicucho.....	38
Tabla 2.6 Granulometría agregado grueso mina de Pifo.....	39
Tabla 2.7 Granulometría agregado grueso mina de El volcán 1	39
Tabla 2.8 Granulometría agregado fino, mina de Cusuco	40
Tabla 2.9 Granulometría agregado fino, mina de Rumicucho	41
Tabla 2.10 Granulometría agregado fino, Agregados Rocafuerte mina de Pifo	42
Tabla 2.11 Granulometría agregado fino mina de El volcán 1	43
Tabla 2.12 Masa mínima de muestra	45
Tabla 2.13 Material fino que pasa por el tamiz N°200, mina de Cusuco.....	45
Tabla 2.14 Material fino que pasa por el tamiz N°200, mina de Rumicucho	45
Tabla 2.15 Material fino que pasa por el tamiz N°200, Agregados Rocafuerte.....	45
Tabla 2.16 Material fino que pasa por el tamiz N°200, El Volcán 1	45
Tabla 2.17 Gravedad específica y absorción del agregado grueso	47
Tabla 2.18 Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	49
Tabla 2.19 Peso unitario del agregado grueso	51
Tabla 2.20 Peso unitario del agregado fino.....	51
Tabla 2.21 Porcentaje de vacíos en los agregados grueso y fino	52
Tabla 2.22 Terrones de arcilla en el agregado grueso.....	56
Tabla 2.23 Desgaste del agregado grueso por acción del sulfato de sodio	59
Tabla 2.24 Contenido orgánico de la arena.....	61
Tabla 2.25 Resultados del ensayo de abrasión.....	64
Tabla 2.26 Resultados del ensayo de equivalente de arena	68
Tabla 2.27 Sumario de resultados y elección de cantera	70
Tabla 3.1 Características del cemento selvalegre.	73
Tabla 3.2 Gravedad específica del cemento. Procedimiento y resultados	75
Tabla 3.3 Principales constituyentes del cemento.....	76
Tabla 3.4 Análisis químico del cemento	79

Tabla 3.5 Determinación del volumen aparente	84
Tabla 3.6 Determinación de la superficie específica	85
Tabla 3.7 Consistencia normal y tiempo de fraguado.....	86
Tabla 3.7 Compresión de morteros a 3 días de edad.....	88
Tabla 3.9 Compresión de morteros a 7 días de edad.....	89
Tabla 3.11 Compresión de morteros a 28 días de edad.....	90
Tabla 3.10 Interpretación resultados de morteros	91
Tabla 4.1 Tamices utilizados en la separación de tamaños.....	93
Tabla 4.2 Asentamientos recomendables para diversos elementos	95
Tabla 4.3 Agua neta en función de TMA.....	96
Tabla 4.4 Relación agua/cemento por resistencia	97
Tabla 4.5 Ataques típicos para las estructuras de concreto reforzado	98
Tabla 4.6 Resumen de tablas 8.2.2-3, 37.3.2a y b de instrucción EHE-08.....	98
Tabla 4.7 resumen de tablas 3, 4 y 5 del NEC-SE-HM	99
Tabla 4.8 Máxima relación A/C para exposición severa.	100
Tabla 4.9 Volumen de agregado grueso vs. TMA y módulo de finura.....	100
Tabla 4.10 Cantidad de agua de mezcla.....	104
Tabla 4.11 Valores del coeficiente a para la curva de Bolomey.....	108
Tabla 4.12 Distribución granulométrica según Fuller, Gessner y Bolomey	108
Tabla 4.13 Expresiones de Faury para tamaño máximo y efecto pared.....	114
Tabla 4.14 Ejemplo del cálculo de efecto pared para vigas y columnas.....	116
Tabla 4.15 Valores del término A. (Giraldo Bolivar, 2014), tabla 12 P39	118
Tabla 4.16 análisis del término A para materiales rodados.	119
Tabla 4.17 valores de K en el método de Faury.....	120
Tabla 4.18 Análisis del término K de Faury	121
Tabla 4.19 Dosificaciones en disertación de Gabriel Unda Duque	125
Tabla 4.20 Resistencia para el hormigón con 0% de finos	126
Tabla 4.21 Resistencia y peso unitario para f^c diseño=140Kg/cm ²	127
Tabla 4.22 Resistencia y peso unitario para f^c diseño=180Kg/cm ²	127
Tabla 4.23 Resistencia y peso unitario para f^c diseño=210Kg/cm ²	128
Tabla 4.24 Resistencia para f^c diseño=210Kg/cm ² con aditivo Conbeton FN70...	128
Tabla 4.25 Resistencia y peso unitario para f^c diseño=280Kg/cm ²	128
Tabla 4.26 Resistencia y peso unitario para f^c diseño=350Kg/cm ²	129

Tabla 4.27 Estimación de la resistencia esperada	129
Tabla 4.28 Porcentaje de finos/cemento vs. Resistencia característica	131
Tabla 4.29 Aire atrapado vs. TMA, relación agua-cemento y asentamientos.	133
Tabla 4.30 características de los materiales utilizados. (Tamayo, 1999).....	134
Tabla 4.31 Aire incluido, peso unitario y resistencia.....	136
Tabla 4.32 Características de los materiales.	139
Tabla 4.33 Incidencia de la abrasión para los diseños $f'c=140$ Kg/cm ²	139
Tabla 4.34 Incidencia de la abrasión para los diseños $f'c=210$ Kg/cm ²	139
Tabla 4.35 Incidencia de la abrasión para los diseños $f'c=280$ Kg/cm ²	140
Tabla 4.36 Incidencia de la abrasión para los diseños $f'c=350$ Kg/cm ²	140
Tabla 4.37 Resistencia esperada con agregado grueso de abrasión 26%.....	141
Tabla 4.38 Características de los materiales y resultados de los ensayos.....	142
Tabla 4.39 Contenido de agua método La Peña.....	149
Tabla 4.40 Comparativas agua neta diversos métodos	150
Tabla 4.41 $f'c$ vs. a/c para clases resistentes de cemento y tipos de agregado	152
Tabla 4.42 Coeficientes parabólico, logarítmico y exponencial de las ecuaciones 4.41-4.43	153
Tabla 4.43 ecuaciones de m , n y p considerando la clase resistente.....	153
Tabla 4.44 ecuaciones de m , n y p para obtener agua-cemento.....	154
Tabla 4.45 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 0% de material fino	160
Tabla 4.46 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 0% de material fino	161
Tabla 4.47 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 0% de material fino	162
Tabla 4.48 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 5% de material fino	163
Tabla 4.49 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 5% de material fino	164
Tabla 4.50 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 5% de material fino	165
Tabla 4.51 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 10% de material fino	166
Tabla 4.52 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 10% de material fino	167
Tabla 4.53 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 10% de material fino	168
Tabla 4.54 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 15% de material fino	169
Tabla 4.55 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 15% de material fino	170
Tabla 4.56 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 15% de material fino	171
Tabla 4.57 Resumen de materiales en dosificaciones.....	172
Tabla 4.58 Resumen unitario de materiales	173

Tabla 4.59 Resumen de pesos de agregados empleados	174
Tabla 4.60 Resumen de peso de agregados por m ³	174
Tabla 4.61 Procedimiento para reestimación	177
Tabla 4.62 Ejemplo tabla para A/C=0.64 y finos=5%	178
Tabla 4.63 Cuadros aplicados de reestimación	179
Tabla 4.64 Resultados de contenido de aire atrapado	182
Tabla 5.1 Formato de laboratorio para compresión de cilindros	187
Tabla 5.2 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=7 días	193
Tabla 5.3 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=14 días	194
Tabla 5.4 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=28 días	195
Tabla 5.5 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=56 días	196
Tabla 5.6 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=7 días	197
Tabla 5.7 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=14 días	198
Tabla 5.8 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=28 días	199
Tabla 5.9 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=56 días	200
Tabla 5.10 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=7 días	201
Tabla 5.11 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=14 días	202
Tabla 5.12 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=28 días	203
Tabla 5.13 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=56 días	204
Tabla 5.14 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=7 días	205
Tabla 5.15 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=14 días	206
Tabla 5.16 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=28 días	207
Tabla 5.17 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=56 días	208
Tabla 5.18 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=7 días	209
Tabla 5.19 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=14 días	210
Tabla 5.20 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=28 días	211
Tabla 5.21 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=56 días	212
Tabla 5.22 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=7 días	213
Tabla 5.23 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=14 días	214
Tabla 5.24 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=28 días	215
Tabla 5.25 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=56 días	216
Tabla 5.26 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=7 días	217
Tabla 5.27 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=14 días	218

Tabla 5.28 Resultados para $A/C=0.64$, %Material fino=10% a edad=28 días	219
Tabla 5.29 Resultados para $A/C=0.64$, %Material fino=10% a edad=56 días	220
Tabla 5.30 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=7 días	221
Tabla 5.31 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=14 días	222
Tabla 5.32 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=28 días	223
Tabla 5.33 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=56 días	224
Tabla 5.34 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=7 días	225
Tabla 5.35 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=14 días	226
Tabla 5.36 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=28 días	227
Tabla 5.37 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=56 días	228
Tabla 5.38 Resultados para $A/C=0.64$, %Material fino=15% a edad=7 días	229
Tabla 5.39 Resultados para $A/C=0.64$, %Material fino=15% a edad=14 días	230
Tabla 5.40 Resultados para $A/C=0.64$, %Material fino=15% a edad=28 días	231
Tabla 5.41 Resultados para $A/C=0.64$, %Material fino=15% a edad=56 días	232
Tabla 5.42 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=15% a edad=7 días	233
Tabla 5.43 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=15% a edad=14 días	234
Tabla 5.44 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=15% a edad=28 días	235
Tabla 5.45 Resultados para $A/C=0.51$, %Material fino=15% a edad=56 días	236
Tabla 5.46 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=15% a edad=7 días	237
Tabla 5.47 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=15% a edad=14 días	238
Tabla 5.48 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=15% a edad=28 días	239
Tabla 5.49 Resultados para $A/C=0.38$, %Material fino=15% a edad=56 días	240
Tabla 5.50 Indicaciones para dimensionamiento	243
Tabla 5.51 Resultados flexión para $A/C=0.64$, %Material fino=0%	244
Tabla 5.52 Resultados flexión para $A/C=0.51$, %Material fino=0%	245
Tabla 5.53 Resultados flexión para $A/C=0.38$, %Material fino=0%	246
Tabla 5.54 Resultados flexión para $A/C=0.64$, %Material fino=5%	247
Tabla 5.55 Resultados flexión para $A/C=0.51$, %Material fino=5%	248
Tabla 5.56 Resultados flexión para $A/C=0.38$, %Material fino=5%	249
Tabla 5.57 Resultados flexión para $A/C=0.64$, %Material fino=10%	250
Tabla 5.58 Resultados flexión para $A/C=0.51$, %Material fino=10%	251
Tabla 5.59 Resultados flexión para $A/C=0.38$, %Material fino=10%	252
Tabla 5.60 Resultados flexión para $A/C=0.64$, %Material fino=15%	253

Tabla 5.61 Resultados flexión para A/C=0.51, %Material fino=15%	254
Tabla 5.62 Resultados flexión para A/C=0.38, %Material fino=15%	255
Tabla 5.63 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=0%	259
Tabla 5.64 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=0%	260
Tabla 5.65 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=0%	261
Tabla 5.66 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=5%	262
Tabla 5.67 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=5%	263
Tabla 5.68 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=5%	264
Tabla 5.69 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=10%	265
Tabla 5.70 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=10%	266
Tabla 5.71 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=10%	267
Tabla 5.72 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=15%	268
Tabla 5.73 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=15%	269
Tabla 5.74 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=15%	270
Tabla 6.1 Resumen de características de los agregados.....	271
Tabla 6.2 variación máxima de resistencia en función de la edad.	272
Tabla 6.3 Resumen de resultados mecánicos.....	273
Tabla 6.4 coeficientes de tendencia lineal de la resistencia.....	280
Tabla 6.5 Resistencia vs. finos.....	281
Tabla 6.6 Tendencia de la resistencia y agua cemento para diferentes porcentajes de finos.....	282
Tabla 6.7 Resistencia obtenida vs. calculada.....	283
Tabla 7.1 Precio de agregados en mina.....	285
Tabla 7.2 Precio para fcr=240 Kg/cm ² y agregado grueso de Pifo	286
Tabla 7.3 Precio para fcr=330 Kg/cm ² y agregado grueso de Pifo	287
Tabla 7.4 Precio para fcr=400 Kg/cm ² y agregado grueso de Pifo	287
Tabla 7.5 Precio para fcr=240 Kg/cm ² y agregados de Pintag.....	287
Tabla 7.6 Precio para fcr=330 Kg/cm ² y agregados de Pintag.....	287
Tabla 7.7 Precio para fcr=400 Kg/cm ² y agregados de Pintag.....	288
Tabla 7.8 Precio para fcr=240 Kg/cm ² y agregados de Rumicucho	288
Tabla 7.9 Precio para fcr=330 Kg/cm ² y agregados de Rumicucho	288
Tabla 7.10 Precio para fcr=400 Kg/cm ² y agregados de Rumicucho	289
Tabla 7.11 Resumen de precios unitarios	289

Tabla 7.11 Resumen de precios unitarios	293
Tabla A1 Distribución de tamaños de un material.....	295
Tabla 4.3 Agua neta en función de TMA.....	299
Tabla A.2 Expresión polinómica logarítmica para el agua según ACI.....	301
Tabla A3. Valores coeficiente a	301
Tabla A4. Valores coeficiente b.....	302
Tabla A5. Valores coeficiente c	302
Tabla A6. Valores coeficiente m.....	302
Tabla A7. Cálculo de los coeficientes para fórmula exponencial o radical	303
Tabla A8. Diferencia de agua por asentamiento	303
Tabla A9. Agua a añadir o reducir por asentamiento.....	304
Tabla A10. ACI diferencia agua neta con aire incluido.....	305
Tabla A11. Aire atrapado en función de tamaño máximo del agregado.....	306
Tabla A12. Agua neta método de Fuller	307
Tabla A13 Relación agua cemento según ACI y clase resistente del cemento.....	309
Tabla A14. Ajuste de la relación agua cemento para agregados rodados.....	310
Tabla A15. Cálculo de la fórmula de $f'c$	311
Tabla A16. Cálculo de la fórmula de A/C	312
Tabla A17. Relación agua cemento agregados triturados.....	313
Tabla A18. Expresión aproximada para volumen de ripio	314
Tabla A19. Argumentos de la función dblink.....	315
Tabla A20. Ejemplo de interpolación bidireccional desde tablas	316

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Módulo de elasticidad en el hormigón.....	4
Gráfico 1.2 Resistencia y asentamiento vs. material fino	13
Gráfico 1.3 Penetrabilidad de cloruros.....	13
Gráfico 2.1 Tamaño del agregado	30
Gráfico 2.2 Tamaño máximo del agregado.....	31
Gráfico 2.3 Representación tamaño máximo del agregado	32
Gráfico 2.4 Curvas granulométricas para las designaciones 1 a 10.....	36

Gráfico 2.5 Curvas granulométricas para las designaciones 24, 357, 467, 56, 57, 67, 68, 78 y 89.....	36
Gráfico 2.6 Normas para granulometría AASHO T-27 e INEN 872.....	37
Gráfico 2.7 Agregado grueso mina Cusuco	38
Gráfico 2.8 Agregado grueso mina de Rumicucho	38
Gráfico 2.9 Agregado grueso mina de Pifo.....	39
Gráfico 2.10 Agregado grueso mina de El volcán 1	40
Gráfico 2.11 Agregado fino, mina de Cusuco.....	41
Gráfico 2.12 Agregado fino, mina de Rumicucho	41
Gráfico 2.13 Agregados Rocafuerte mina de Pifo	42
Gráfico 2.14 Agregado fino mina de El volcán 1	43
Gráfico 2.15 procedimiento para determinar el material fino que pasa por el tamiz N°200.....	44
Gráfico 2.15 Procedimiento para determinar la gravedad específica	47
Gráfico 2.16 Procedimiento para determinar la gravedad específica del agregado fino	48
Gráfico 2.17 Procedimiento para el peso unitario del agregado grueso	50
Gráfico 2.18 Determinación del contenido de terrones de arcilla en el agregado grueso	54
Gráfico 2.19 Rangos de material que pasa %RPi	55
Gráfico 2.20 Desgaste de los agregados a la acción de los sulfatos	58
Gráfico 2.21 Procedimiento para determinar el contenido orgánico de la arena.....	61
Gráfico 2.24 Preparación de la muestra para el ensayo de abrasión	62
Gráfico 2.25 Procedimiento para el ensayo de Abrasión.....	63
Gráfico 2.26 Preparación de la solución concentrada.....	65
Gráfico 2.27 Preparación de la muestra	66
Gráfico 2.28 Procedimiento para el ensayo de equivalente de arena.....	67
Gráfico 3.1 Determinación de la cantidad de la muestra de cemento	82
Gráfico 3.2 Determinación del tiempo en el aparato de Blaine	83
Gráfico 4.1 Volumen de agregado grueso.....	100
Gráfico 4.2 Distribución según Fuller, Gessner y Bolomey	108
Gráfico 4.3 Tamaño máximo del agregado, método de Faury.....	111
Gráfico 4.4 Radio del encofrado	113

Gráfico 4.5 Radio de la armadura	113
Gráfico 4.6 Tamaño máximo del árido para agregados rodados	115
Gráfico 4.7 Distribución granulométrica método de Faury.	117
Gráfico 4.8 término A para materiales rodados	118
Gráfico 4.9 K en función de asentamiento y tipo de agregado	121
Gráfico 4.10 Resistencia para el hormigón con 0% de finos (hormigón patrón)....	126
Gráfico 4.11 Resistencia obtenida vs. Porcentaje de material fino.....	130
Gráfico 4.12 Resistencia corregida a relación agua cemento vs. Porcentaje de material fino	130
Gráfico 4.13 Porcentaje de finos/cemento vs. resistencia característica.....	132
Gráfico 4.14 Porcentaje de aire atrapado vs. Tamaño máximo del agregado.....	134
Gráfico 4.15 Porcentaje de aire incluido y peso unitario vs. contenido de aditivo inclusor.....	137
Gráfico 4.16 Resistencia vs. contenido de inclusor de aire.....	138
Gráfico 4.17 Resistencia a la compresión en relación al % de abrasión.....	140
Gráfico 4.18 resistencia vs. contenido de superfluidificante	143
Gráfico 4.19 f'c vs. a/c para clases resistentes de cemento y tipos de agregado	152
Gráfico 4.20 Descripción de tabla Propiedades de los agregados	156
Gráfico 4.21 Desplegable de designaciones de materiales	157
Gráfico 4.22 Tabla de dosificación de hormigones	158
Gráfico 4.46 Variación de agua neta en función de A/C	173
Gráfico 4.46 Medición de contenido de aire atrapado	181
Gráfico 5.1 Dimensiones de un cilindro	184
Gráfico 5.3 Elementos para el de ingreso de datos	188
Gráfico 5.4 Cuadro de diálogo para configuración.....	189
Gráfico 5.5 Uso de desplegables en el cuadro de diálogo.....	189
Gráfico 5.6 Modificación de forma de falla.....	190
Gráfico 5.7 Resultado después de modificar puntos.....	191
Gráfico 5.8 Esfuerzo Deformación para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=7 días	193
Gráfico 5.9 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=14 días	194
Gráfico 5.10 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=28 días	195
Gráfico 5.11 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=56 días	196

Gráfico 5.12 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=0% a edad=7 días	197
Gráfico 5.13 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=0% a edad=14 días	198
Gráfico 5.14 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=0% a edad=28 días	199
Gráfico 5.15 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=0% a edad=56 días	200
Gráfico 5.16 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=0% a edad=7 días	201
Gráfico 5.17 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=0% a edad=14 días	202
Gráfico 5.18 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=0% a edad=28 días	203
Gráfico 5.19 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=0% a edad=56 días	204
Gráfico 5.20 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=5% a edad=7 días	205
Gráfico 5.21 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=5% a edad=14 días	206
Gráfico 5.22 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=5% a edad=28 días	207
Gráfico 5.23 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=5% a edad=56 días	208
Gráfico 5.24 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=5% a edad=7 días	209
Gráfico 5.25 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=5% a edad=14 días	210
Gráfico 5.26 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=5% a edad=28 días	211
Gráfico 5.27 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=5% a edad=56 días	212
Gráfico 5.28 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=5% a edad=7 días	213
Gráfico 5.29 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=5% a edad=14 días	214
Gráfico 5.30 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=5% a edad=28 días	215
Gráfico 5.31 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=5% a edad=56 días	216
Gráfico 5.32 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=10% a edad=7 días	217
Gráfico 5.33 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=10% a edad=14 días	218
Gráfico 5.34 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=10% a edad=28 días	219
Gráfico 5.35 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=10% a edad=56 días	220
Gráfico 5.36 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=7 días	221
Gráfico 5.37 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=14 días	222
Gráfico 5.38 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=28 días	223
Gráfico 5.39 σ vs. δ para $A/C=0.51$, %Material fino=10% a edad=56 días	224
Gráfico 5.40 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=7 días	225
Gráfico 5.41 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=14 días	226
Gráfico 5.42 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=28 días	227
Gráfico 5.43 σ vs. δ para $A/C=0.38$, %Material fino=10% a edad=56 días	228
Gráfico 5.44 σ vs. δ para $A/C=0.64$, %Material fino=15% a edad=7 días	229

Gráfico 5.45 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=14 días	230
Gráfico 5.46 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=28 días	231
Gráfico 5.47 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=56 días	232
Gráfico 5.48 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=7 días	233
Gráfico 5.49 σ vs. δ A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=14 días	234
Gráfico 5.50 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=28 días	235
Gráfico 5.51 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=56 días	236
Gráfico 5.52 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=7 días	237
Gráfico 5.53 σ vs. δ A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=14 días	238
Gráfico 5.54 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=28 días	239
Gráfico 5.55 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=56 días	240
Gráfico 5.56 Descripción para el dimensionamiento de vigueta	243
Gráfico 6.1 Resistencia a compresión a los 7 días	274
Gráfico 6.2 Resistencia a compresión a los 14 días	274
Gráfico 6.3 Resistencia a compresión a los 28 días	275
Gráfico 6.4 Resistencia a compresión a los 56 días	275
Gráfico 6.5 Resistencia a flexión de viguetas	276
Gráfico 6.6 Porcentaje de ripios rotos en flexión de viguetas.....	276
Gráfico 6.7 Resistencia a tracción método brasileño	277
Gráfico 6.8 Porcentaje de ripios rotos en tracción de viguetas	277
Gráfico 6.9 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 7 días	278
Gráfico 6.10 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 14 días	278
Gráfico 6.11 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 28 días	279
Gráfico 6.12 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 56 días	279
Gráfico 6.13 Resistencia vs. A/C para contenido de finos de 0% a 15%	281
Gráfico 6.14 Factor y exponente en las ecuaciones de tendencia	282
Gráfico 6.15 Resistencia vs. contenido de finos para $0.38 \leq A/C \leq 0.64$	284
Gráfico A1. Explicación gráfica de módulo granulométrico	295
Gráfico A2. Granulometría de Fuller	298
Gráfico A3. Agua neta vs. tamaño del agregado y asentamiento según ACI.	300
Gráfico A4 Agua neta según ACI con aproximación de fórmula radical	303
Gráfico A5 Diferencia de agua por asentamiento	304
Gráfico A6. ACI diferencia agua neta con aire incluido.....	305

Gráfico A7. Relación agua cemento según clase resistente del cemento	310
--	-----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 2.1 Mina de Mandingo.....	22
Foto 2.2 Trituradora en mina de Hormigonera Quito	23
Foto 2.3 Vista parcial de la loma de Rumicucho	23
Foto 2.4 Estratigrafía típica de la mina de Cusuco	24
Foto 2.5 Explotación de material en la mina de Caizán.....	24
Foto 2.6 Vista parcial de las instalaciones en mina de Agregados Rocafuerte.....	25
Foto 2.7 Zarandas en la mina de Palugo	25
Foto 2.8 Yacimientos de la mina El Volcán 1	26
Foto 2.9 Tamizadora mecánica	29
Foto 3.1 Preparación de la muestra en solvente.....	78
Foto 3.2 Fraccionamiento de compuestos.....	78
Foto 3.3 Calcinación en mufla	78
Foto 3.4 Peso de residuo insoluble.....	78
Foto 5.1 Ensamble de deformímetro para prueba de compresión.....	183
Foto 5.2 Cilindro fallado	191
Foto 5.3 Montaje de apoyos y carga para ensayo de flexión	241
Foto 5.5 Montaje longitudinal de probeta	257
Foto 5.4 Máquina de ensayo	257
Foto 5.6 Montaje transversal de probeta	257
Foto 5.7 Mitades de un cilindro fallado	258

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES.

1.1. Nociones básicas de las propiedades del hormigón hidráulico

El hormigón está compuesto principalmente de agregados, cemento portland puro o con mezcla y agua, además puede contener aditivos y otros materiales cementicios.

“La selección de las proporciones implica un balance entre economía y propiedades esperadas en el hormigón fresco, tales como facilidad de colocación y trabajabilidad (docilidad y consistencia), homogeneidad y baja segregación. Asimismo, en el hormigón endurecido se requiere resistencia, módulo de elasticidad, durabilidad, apariencia y densidad correcta”.(American Concrete Institute, 1995) Según ACI tenemos para el hormigón fresco las siguientes propiedades:

1.1.1 Facilidad de colocación

“Que incluye las propiedades para un acabado satisfactorio, abarca los rasgos acumulados en los términos trabajabilidad y consistencia. La trabajabilidad es la propiedad que determina la capacidad del hormigón a ser colocado y consolidado adecuadamente y tener un buen acabado sin producir segregación, involucra conceptos de moldabilidad, cohesividad y compacidad. Es afectada por: la gradación, forma de las partículas, proporciones de agregado, cantidad y calidad del cemento, presencia de aire atrapado y aditivos químicos y la consistencia de la mezcla”.(American Concrete Institute, 1995)

1.1.2 Consistencia

“Es la movilidad relativa de la mezcla de hormigón. Se mide en términos del asentamiento (más alto, mayor movilidad de la mezcla), y afecta la facilidad de fluir durante la colocación. Se relaciona sin ser sinónimo de la trabajabilidad. El

contenido de agua para producir un asentamiento dado depende de varios factores. El requerimiento de agua aumenta con agregados angulosos o rugosos (pero estos agregados ofrecen ventaja en términos de adherencia a la pasta de cemento). El agua requerida decrece si aumenta el tamaño máximo del agregado o el aire atrapado o por la incorporación de aditivos reductores de agua”.(American Concrete Institute, 1995)

1.1.3 Homogeneidad

“Es la distribución, en iguales condiciones de proporcionamiento, de los constituyentes en toda la masa del hormigón. A priori depende de la adecuada dosificación y mezcla; posteriormente de las condiciones de transporte, bombeo, colocación y vibrado.

La homogeneidad se ve afectada por la **segregación del hormigón** que es la separación de sus componentes una vez amasado provocando que la mezcla de hormigón fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme. Si un hormigón presenta buena resistencia a segregación, eso significa que los áridos estén uniformemente distribuidos en la mezcla, tanto en dirección vertical como en horizontal.

Los problemas de la segregación del hormigón surgen con los trabajos de colocación y compactación, con el resultado de estructuras con defectos como poros y coqueas.

La mezcla adecuada de los áridos y demás componentes de la masa y la homogeneidad del hormigón fresco se logra en la amasadora y en la hormigonera pero esta mezcla puede dislocarse durante el transporte, el vertido y durante el compactado, dando lugar a que los elementos constitutivos del hormigón tiendan a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad.

La segregación puede originar hormigones con superficies mal acabadas, con coqueas o, al contrario, con exceso de mortero, con una repercusión negativa en la

durabilidad y resistencias mecánicas del hormigón”.(IDC Ingeniero de caminos, 2014)

1.1.4 Aire incluido

“El aire es otro componente en el hormigón que puede encontrarse de manera accidental o como elemento intencional (aire incluido con el uso de aditivos o cementos especiales). Todos los hormigones tienen cierta cantidad de aire ocluido de manera natural, lo cual **no** aporta características favorables, ya que produce porosidades, canalículos y vacíos relativamente de gran tamaño y no uniformemente distribuidos. En cambio, en el hormigón elaborado con inclusores de aire hay mayores ventajas que desventajas, ya que se forman burbujas de tamaño pequeño, aproximadamente de 25 a 250 μm que reducen la tensión superficial y pueden alojar el agua libre. El aire incluido afecta a la mayoría de propiedades del hormigón.”(d'Hainaut, 1976).

Entre las propiedades del hormigón endurecido constan:

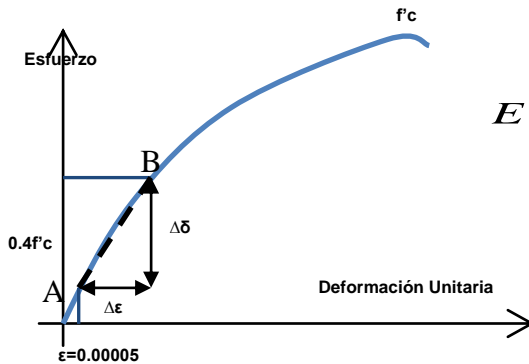
1.1.5 Resistencia mecánica

“Mientras la resistencia mecánica del hormigón es un parámetro muy importante, la durabilidad, impermeabilidad y resistencia al desgaste pueden ser igual o más importantes. La resistencia a compresión de cilindros a 28 días es la variable más importante para diseño, mezcla y evaluación. En concreto masivo, las mezclas se diseñan para brindar su resistencia a edades mayores a 28 días, asimismo, en la mayoría de aplicaciones, se requieren resistencias tempranas adecuadas para remover los encofrados.”(American Concrete Institute, 1995)

1.1.6 Módulo de elasticidad

“Es el incremento de esfuerzo que producirá un incremento dado de deformación unitaria. Se circunscribe a la constante de proporcionalidad dentro del rango elástico determinada por la relación esfuerzo/deformación unitaria.

De acuerdo a la norma ASTM C-469, el módulo de elasticidad (E_c) se obtiene calculando la pendiente del segmento de recta que pasa por los puntos A y B, para lo cual es necesario obtener del trazo de la curva (o en el transcurso de la prueba) la abscisa correspondiente a la deformación unitaria de 0.00005 (50 millonésimas) y la ordenada correspondiente al esfuerzo $0.40f'_c$.” (Constructor Civil, 2011)



Ecuación 1.1 Módulo de elasticidad

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Siendo:

- E Módulo de elasticidad del hormigón
- $\Delta\sigma$ 40% de esfuerzo máximo **menos** el esfuerzo a una deformación unitaria de 50 millonésimas
- $\Delta\varepsilon$ Deformación unitaria correspondiente a un esfuerzo de 40% de f'_c **menos** 50 millonésimas

Gráfico 1.1 Módulo de elasticidad en el hormigón.
(Constructor Civil, 2011)

1.1.7 Impermeabilidad

“Es la dificultad al paso del agua a través del hormigón, expresada como magnitud inversa de velocidad de flujo a una diferencia de presión unitaria en un volumen unitario de control (seg/cm). Se produce por formación de poros o el contacto entre las partículas de los agregados.” (Unda Duque, 1986). Depende de la cantidad de cemento, uso de aditivos impermeabilizantes y la buena compacidad de la mezcla.

1.1.8 Flujo plástico

“Es la deformación debida a cargas permanentes en un largo período, avanza con velocidad decreciente y se aproxima a cierto valor que puede ser de una a tres veces el valor de la deformación elástica inicial, más de la mitad de la fluencia total tiene

lugar durante los primeros tres meses después de aplicar la carga. La magnitud del flujo plástico depende de la relación agua/cemento.”(Unda Duque, 1986)

1.1.9 Deformación térmica

“El coeficiente de dilatación térmica, α del hormigón varía con el tipo de cemento y áridos, con la dosificación y con el rango de temperaturas; oscilando entre $9,2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ y $11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ para temperaturas comprendidas entre -15°C y 50°C . Como valor medio para los cálculos puede tomarse el de $9,9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.”(Ingeniero Civil Info, 2012).

1.1.10 Reactividad Cemento Agregado

“Aunque la mayoría de los agregados son inertes, se han observado algunas reacciones especialmente con la pasta de cemento las cuales son la epitaxia y la reacción álcali-sílice.

La epitaxia es la cristalización de un mineral sobre otro que tiene estructura análoga, beneficia la adherencia entre agregados calizos y la pasta de cemento.” (Aris, 2008)

“Aunque los agregados que se van a emplear en los ensayos de esta monografía son predominantemente basálticos, se va a estimar el porcentaje de ripios rotos en las superficies de falla de los ensayos a tensión como un indicio de la adherencia del agregado con la pasta.

La reacción Álcali-Sílice se produce, entre los iones Na^+ y K^+ , aportados generalmente por el cemento y los componentes reactivos de algunos agregados silíceos (cuarzo, calcedonia, ópalo, algunas arcillas, etc.). Forma un gel que incrementa su volumen con la humedad, por lo que afecta a hormigones en contacto con agua o suelos húmedos o atmósferas con alta humedad relativa. “(Becker, 2014)

1.2. Criterios de diversas entidades sobre el contenido de finos en el hormigón

1.2.1 Norma ecuatoriana de la construcción NEC y MOP

En el acápite 1.2.2.1.2 del tomo 1 de la Norma Ecuatoriana de la construcción referido a *Componentes del hormigón, Áridos*; nos remite a la norma ASTM C33 *Áridos para hormigón, Requisitos* dentro de la cual tenemos:

“Los límites sobre sustancias perjudiciales o nocivas de agregado de concreto fino: en la cantidad de terrones de arcilla y partículas deleznable (piezas pequeñas de agregado que se descomponen fácilmente). Éstas se limitan a 3,0 por ciento o menos de la masa total. El agregado extremadamente ligero también se limita a 3,0 por ciento o menos de la masa total, y el carbón y lignito se limitan a 5,0 por ciento o menos. Cualquiera de estos elementos puede hacer que el concreto pierda fuerza y se deteriore de forma más rápida.” (Comisión Guatemalteca de normas, 2015)

Tabla 1.1 Porcentaje máximo permitido de material fino que pasa por el tamiz N°200

(Comisión Guatemalteca de normas, 2015)

Tipo de hormigón	NORMA	AASHO T11	ASTM C-33
		MTOP f001 901-2.02	Ensayo ASTM C117
Sujeto a desgaste		3% (Máx)	3% (Máx)
Otros hormigones		5% (Máx)	5% (Máx)

Tabla 1.2 Contenido máximo tolerable de otros materiales perjudiciales.

Según MTOP f001 901 tabla 2.02.2(MOP, 1976)

Material	Ensayo AASHO	%en peso
Terrones de arcilla	T 112	1.0%
Material carbonoso,	T 113	1.0%
Esquistos,alcalis,mica granos recubiertos y partículas blandas	múltiples	1.5%

No se especifica ninguna salvedad al contenido mayor de estas sustancias.

1.2.2 Instituto Americano del Concreto ACI

En la sección 3.3.1 del código ACI 318-08 se remite también a ASTM C33, en los comentarios se manifiesta: R3.3.1.- *“Los agregados que cumplen con las normas de la ASTM no siempre están disponibles económicamente y, en ciertos casos, algunos materiales que no cumplen con ellas tienen una larga historia de comportamiento satisfactorio. Aquellos materiales que no cumplen con las normas pueden permitirse, mediante una aprobación especial, cuando se presenta evidencia aceptable de comportamiento satisfactorio. Debe observarse, sin embargo, que el comportamiento satisfactorio en el pasado no garantiza buen comportamiento en otras condiciones y en otros lugares. Siempre que sea posible, deben utilizarse agregados que cumplan con las normas establecidas.”* (Comite ACI 318, 2008)

Sin embargo, en capítulo 4.4 del código ACI 211.1-95, se indica “el uso de materiales finos distintos que el cemento hidráulico, tales como cenizas volantes, puzolanas naturales, escorias de altos hornos y humo de sílice; como adiciones que reaccionan químicamente para mejorar la acción del cemento y eventualmente reemplazarlo parcialmente. Debemos observar que estos materiales, a excepción de las puzolanas naturales, no se encuentran comúnmente como constituyentes del material fino de las arenas de cantera.”(American Concrete Institute, 1995)

1.2.3 Instrucción EHE-2008. Ministerio de Fomento, España

Se establece un huso granulométrico para la distribución de tamaños de la arena y dice que: “Se recomienda que la curva granulométrica del árido fino total esté comprendida dentro del huso definido en la tabla 29.1.4.b. En el caso de arenas que no cumplan con las limitaciones establecidas en el referido huso, especialmente las recogidas para el material de tamaño inferior a 0.063mm, se recomienda que su

empleo esté condicionado a que se cumpla lo indicado en 31.1 y exista un estudio experimental específico que justifique que las propiedades relevantes de los hormigones con ellos fabricados son, al menos, iguales que las de los hormigones hechos con los mismos componentes, pero sustituyendo la arena por una que cumpla el huso.” (Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2011)

Tabla 1.3 Huso granulométrico del árido fino, instrucción EHE

Tomado de Tabla 28.4.1.b

(Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2011)

Tamaño mm	Retenido		% pasa	
	MAX	min	min	MAX
4	15%	0%	85%	100%
2	38%	4%	62%	96%
1	60%	16%	40%	84%
0.5	82%	40%	18%	60%
0.25	94%	70%	6%	30%
0.125	100%	77%	0%	23%
0.063	100%	100%-(1)	0%	(1)

Tabla 1.4 Porcentaje máximo de material que pasa tamiz 0.063mm (Nº240)

(Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2011)

(1) Este valor será el que corresponda de acuerdo con la tabla 28.4.1.a:	
6% para:	Áridos redondeados
	Áridos triturados no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien que estén sometidas a alguna clase específica de exposición.
10% para:	Áridos triturados calizos para obras sometidas a la clase general de exposición IIIb, IIIc, IV o bien que estén sometidas a alguna clase específica de exposición.
	Áridos triturados no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.
16% para:	Áridos triturados calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.

La clasificación general de exposición de las estructuras a los elementos la encontramos en la Tabla 4.5, que es un resumen de las tablas 8.2.2, 8.2.3, 37.3.2.a y 37.3.2.b de la instrucción EHE-08.

Finalmente, en 31.1 encontramos: “La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y el fino que pasan por el tamiz UNE 0.063mm y la componente caliza, en su caso del cemento, deberá ser inferior a 175 Kg/m³” (Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2011).

1.2.4 Influencia de finos en mezclas de concreto. Por Dr. Hadassa Baum y Dr. Amnon Katz

En este estudio se analiza el uso de material fino que pasa por el tamiz #200 en la arena, debido a la escasez creciente de arenas de arenas naturales de buena calidad, lo que obliga al uso de polvo de piedra en su lugar. Descubrieron que “al agregar material de relleno de buena calidad y que pasa por el tamiz #200 (75 micrones), se puede mejorar las propiedades del concreto, sin embargo, la fracción de menos de 5 micrones puede tener mal efecto.” (Baum & Katz, Effect of High Levels of Fines Contents on Concrete Properties , 2006)

Se estudiaron 4 interrogantes:

- **“Se puede usar arena triturada (como la de enlucidos) en el concreto?”**

Al analizar hormigones con arena triturada que contenía hasta 40% de MF200, se encontró que bajaba su resistencia, aumentaba la permeabilidad a cloruros y carbonatos, había mayor agrietamiento en el secado, distribución dispareja de poros y, en el caso de uso de plastificantes, un mayor requerimiento para igual consistencia con menores resistencias tempranas . Las arenas se sometieron a lavado y las propiedades del concreto mejoraron, aunque no al nivel del hormigón patrón.” (Baum & Katz, Effect of High Levels of Fines Contents on Concrete Properties , 2006)

- **“Cuál es la influencia de diferentes contenidos y tipos (calcita o cuarzita) de material ultrafino en la calidad del hormigón?”**

Al incorporar materiales ultrafinos (de alta calidad), formados por calcita o cuarzita al hormigón, se mejora su rendimiento en la mayoría de casos especialmente con respecto a la penetración de cloruros. No hay tendencia clara con respecto al contenido o tipo de material, sin embargo al exceder de 32 Kg/m³ de ultrafinos se pierden las mejoras. En hormigones más densos con relación A/C<0.50, el material ultrafino de relleno tuvo mejor efecto en su rendimiento, independientemente del contenido de ultrafinos y de sí estos eran calcáreos o silíceos.” (Baum & Katz, Effect of High Levels of Fines Contents on Concrete Properties , 2006)

- **“Cuál es la influencia de superplastificante en hormigón con ultrafinos?”**

Aumenta la impermeabilidad a cloruros y carbonatos, especialmente para mezclas con alta relación A/C, pero solamente al usar aditivos de segunda y tercera generación. Aparentemente el superplastificante genera interacción con el MF200, venciendo las fuerzas de atracción entre sus partículas, las cuales podrían formar grumos en el hormigón fresco. Esta interacción ayuda a dispersar el material fino y lograr una distribución más fina de poros con mayor impermeabilidad.” (Baum & Katz, Effect of High Levels of Fines Contents on Concrete Properties , 2006)

- **“Hace diferencia la técnica de añadir finos en una mezcla con arena sin finos, con respecto a usar una arena que ya contiene finos?”**

Si, al añadir finos después de poner la arena en la mezcla se mejoran las propiedades del hormigón (resistencia y permeabilidad). En cambio al hacer la mezcla con una arena con alto contenido de MF200, aparentemente los finos intervienen con el proceso de hidratación, resultando en un sistema más abierto y más permeable; sin

embargo este problema se elimina al usar aditivos de tercera generación.”(Baum, 2006).

“El contenido excesivo de material fino puede provocar los siguientes efectos:

1. Reduce la trabajabilidad porque su alta superficie específica de partículas demanda mayor agua de mojado, por lo que hay que incrementar el contenido de agua y cemento, esta solución puede provocar mayor encogimiento y agrietamiento.
2. Los finos se pegan a la superficie de los agregados y reducen la adherencia pasta-agregado.
3. Las partículas de arcilla se expanden en el concreto fresco y se encogen al secarse, aumentando el riesgo de agrietamiento y reduciendo la resistencia.(Baum & Katz, 2006)

1.2.5 Efecto de los finos de limo en las propiedades del concreto

Este trabajo de investigación fue desarrollado por Shih-Wei Cho en la Universidad China de ciencia y tecnología en Taipei, Taiwán.

“El motivo de este estudio es que los agregados finos disponibles en Taiwán, especialmente los que provienen de cierto tipo de arenas de río, además de ser discontinuamente gradados tienen altos contenidos de material fino que pasa el tamiz N°200, debido a los efectos del intemperismo, siendo este contenido difícil de remover. El pequeño tamaño del limo, junto con su enorme área superficial pueden incrementar el agua de mezcla en el concreto, además puede haber reactividad química entre la pasta de cemento y el agregado.” (Shih-Wei, 2014).

“Al realizar las dosificaciones se lavó la arena de río para obtener el material fino en proporciones de 0%, 1%, 3%, 5%, 7% y 9% referidos al contenido de arena, se

empleó agregado grueso triturado de tamaño máximo 20mm, el cual también fue lavado. Se realizaron pruebas de asentamiento, resistencia a compresión a 91 días y para determinar la durabilidad del concreto se efectuaron los ensayos de permeabilidad a los cloruros rápida (RCPT, según ASTM C1202), prueba acelerada de migración de cloruros (ACMT) y observación de la estructura de poros mediante el método de medición de poros por intrusión de mercurio (MIP). Se usaron especímenes de 100mm de diámetro por 200mm de altura y de algunos se cortaron discos de 50mm y 30mm para los ensayos RCTP y ACMT (2 discos para cada ensayo para cada dosificación), para el ensayo MIP se cribó parte del hormigón fresco por el tamiz N°4, para realizar cubos de mortero de 1 pulgada cúbica.”(Shih-Wei, 2014).

En la siguiente tabla se muestran los resultados de asentamiento, compresión y penetrabilidad de iones cloruro mediante el ensayo RCTP. Nótese que las cantidades de cemento, agua, ripio y arena+finos se mantuvieron constantes.

Tabla 1.3 Composición, asentamiento, resistencia y penetrabilidad a cloruros.
(Shih-Wei, 2014)

Mezcla N°	T0	T1	T3	T5	T7	T9
Cemento (kg/m ³)	405					
Agua (kg/m ³)	194					
Agregado grueso (kg/m ³)	1032					
Arena que pasa tamiz 75µm (kg/m ³)	0	8	24	40	56	72
Arena retenida tamiz 75µm (kg/m ³)	799	791	775	759	743	727
Material fino/arena (%)	0%	1%	3%	5%	7%	9%
Asentamiento obtenido (cm)	24.5	24.5	23.5	22	20	17.5
Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	407.7	417.9	417.9	417.9	377.2	356.8
Resultados RCPT						
Carga eléctrica que pasa (Coulomb)	4458	3706	3898	4106	4802	5279
Penetrabilidad de Iones Cloruro	Alta	Media	Media	Alta	Alta	Alta

Gráfico 1.2 Resistencia y asentamiento vs. material fino

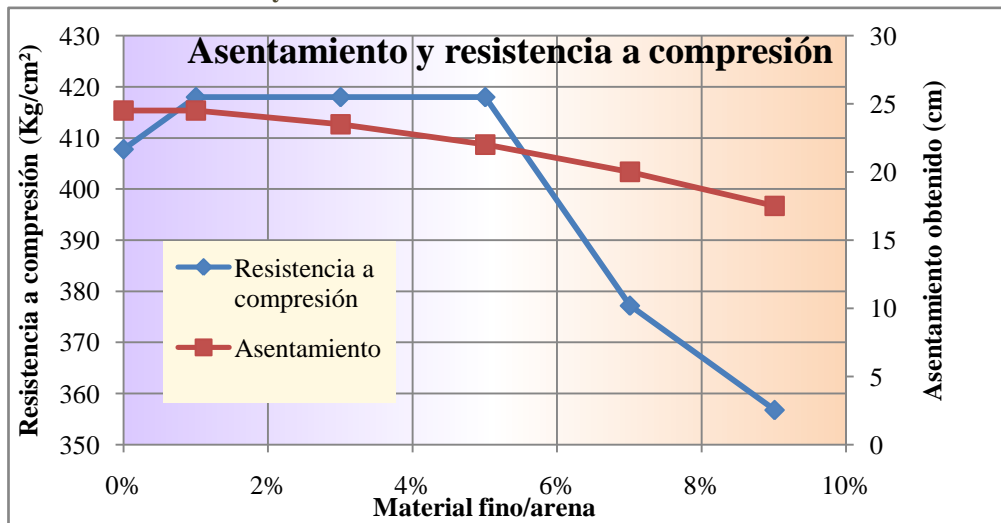


Gráfico 1.3 Penetrabilidad de cloruros



Se llegó a la conclusión de que “un contenido de finos superior al 5% aumenta la penetración de ion cloruro en la prueba RCPT y la migración de iones en la prueba ACMT, así como reduce la resistencia a la compresión, perjudicando la durabilidad.”(Shih-Wei, 2014).

1.3.Extracto de conclusiones de las monografías anteriores.

Se revisaron algunas monografías para tener pautas de diseño de mezclas, metodologías e interpretación de resultados que conlleven a una mejor realización de la presente. Los extractos tomados de las monografías se indican en *itálicas*.

1.3.1 “Influencia del contenido del material fino que pasa por el tamiz #200 en la resistencia a la compresión del hormigón”

Esta monografía fue desarrollada por el Ing. Roberto Gabriel Unda Duque en 1986, en ella encontramos las siguientes observaciones y conclusiones que nos han permitido conocer las directrices que debemos adoptar para la realización de la presente, que representa su continuación:

- *“Inicialmente con las cantidades de los agregados que se hicieron las mezclas, se observó que en el hormigón no había mucha pasta cementante, mientras que el ripio parecía estar presente en una buena cantidad, y debido a esto habían escurrimientos en la mezcla, por lo tanto se procedió a cambiar la dosificación, y se utilizó el 42% de agregado fino y 58% de agregado grueso, con lo que se mejoró la pasta cementante y la trabajabilidad, por otro lado se recomendaba que en las mezclas se debe tener cuidado; por cuanto a medida que se aumentaba el material fino que pasaba el tamiz N°200 se producía un aumento del volumen de la mezcla.”(Unda Duque, 1986).*

Por este motivo, en la realización de la presente se usará un método de dosificación de hormigones que considera una distribución continua de la granulometría de los agregados inclusive tanto para el material fino como para el cemento.

- *“Se recomendó cambiar los materiales, de forma que se utilicen agregados con características diferentes a los utilizados en dicha instancia y variar el cemento.”* (Unda Duque, 1986). En la presente se optó por escoger entre los agregados de las minas más populares utilizadas en la actualidad por la industria de la construcción, además se emplea cemento portland puzolánico tipo IP, el cual es el exigido como estandar mínimo de producción por las normas actualmente vigentes en nuestro país.

- *“Para dosificaciones con más de 5% de finos referido al porcentaje de arena, se observó que mientras mayor cantidad de material fino se usaba se tenía que realizar mayores reestimaciones en las mezclas, con lo que subía la cantidad de cemento.”*(Unda Duque, 1986). Para subsanar este inconveniente, decidimos adoptar la elaboración de una tabla de posibles reestimaciones sobre la mezcla fresca, que permita proveer correcciones en la variación de asentamiento y peso unitario mediante la adición de materiales. De ser necesaria una segunda reestimación, se la recalculará solamente en el caso de ser que esta precise la adición de pasta cementante. No se realizarían terceras reestimaciones por cuanto implican excesiva distorsión en el método de dosificación y simplemente se registraría el asentamiento y peso unitario obtenidos para su posterior procesamiento.
- En la monografía anterior se escogieron porcentajes de material fino que pasa por el tamiz N 200, referidos al contenido de arena en 0, 1, 2, 3, 5, 7.5 y 10%. Al observar los resultados de resistencia vs. contenido de finos se estableció que para bajos porcentajes de finos, la variación de $f'c$ no es claramente determinable, por lo que en esta ocasión, se han escogido porcentajes de 0, 5, 10 y 15% para evaluar comportamientos en rangos más amplios y reducir la variabilidad por otros factores en la consecución de la resistencia de diseño.

1.3.2 “Hormigones con cementos especiales: Estudio comparativo entre acelerantes y capeado”

En la metodología de la Monografía, escrita por la Ing. Verónica Miranda Rubio en 1991, *“se decidió minimizar el número de variables que afectan la calidad del material y tratándose de los agregados decidió trabajar con materiales de características probadas; para ello, de trabajos anteriores ya realizados en la*

facultad , procedió a escoger el ripio de Guayllabamba y la arena de la Unión, por ser a su criterio los más adecuados para la investigación.”(Miranda Rubio, 1991)

Sin embargo nosotros decidimos realizar el estudio previo de agregados con la visita a diversas canteras, toma de muestras y su posterior análisis.

“De acuerdo a los resultados se llegó a establecer que en hormigones elaborados con cemento portland tipo IE, para relación agua/cemento de 0.37 se puede esperar una resistencia a la compresión del hormigón de 350 Kg/cm²; y para una resistencia mínima de 140 Kg/cm², bien puede usarse una relación agua/cemento de 0.68; esto es en condiciones óptimas de trabajo en laboratorio; para condiciones esperadas en obra se afecta por un factor de seguridad. Al compararlos con los valores obtenidos en cemento portland tipo I, se puede observar que son menores los logrados en hormigones con cemento portland tipo IE”.(Miranda Rubio, 1991) En esta monografía se obtuvo la curva de relación agua/cemento para hormigón sin aditivos, elaborado con cemento tipo IP, en condiciones de laboratorio similares a las de los estudios previos; realizados desde la adopción de este tipo de cemento IP en nuestro país.

“Del análisis de resistencia vs. edad, se observó que a edades tempranas el porcentaje de resistencia con respecto a la final era mayor para hormigones con mayor cantidad de cemento.”(Miranda Rubio, 1991), razón por la cual hemos decidido realizar el análisis de resistencia vs. edad para evaluar dicha hipótesis.

1.3.3 Determinación del contenido de aire atrapado y sus consecuencias en el hormigón, utilizando cemento portland puzolánico tipo IP

Este trabajo fue desarrollado por Ing. Sergio Oswaldo Tamayo Tamayo en 1999, entre sus más relevantes comentarios y conclusiones podemos destacar:

“De los resultados obtenidos del análisis de material de las minas de Rumicucho, Cusuco y Pifo, se puede concluir que, tanto el agregado grueso como el fino de la cantera de Pifo, tienen mejores características que los de Cusuco y de Rumicucho.” (Tamayo, 1999). Por este motivo hemos optado para las pruebas comparativas por estas mismas canteras, además en lo posible el estudio de mas canteras dentro de la formación Antisana por cuanto la cantera de Pifo es parte de esta formación.

“El contenido de aire atrapado en una mezcla de hormigón no depende ni del asentamiento ni de la relación agua/cemento, sino únicamente del tamaño máximo del agregado, se puede concluir que si disminuye el tamaño máximo del agregado, el valor del porcentaje de aire atrapado aumenta.” (Tamayo, 1999) Planteamos determinar si el contenido de material fino que pasa por el tamiz #200 influye también en el contenido de aire atrapado, para lo cual realizaremos la medición de aire atrapado en la mezcla fresca.

“Se puede concluir que para los materiales de nuestro medio se requiere mayor cantidad de agua para alcanzar los mismos asentamientos que en la tabla del ACI para requerimientos de agua de mezcla”. (Tamayo, 1999). Con esta previsión en mente, preferimos partir de un mayor contenido de agua neta para el diseño de dosificaciones.

1.3.4 Influencia de la inclusión de aire en la resistencia mecánica y en la trabajabilidad del hormigón.

Fue desarrollada por Diego Fernando Aguirre Burneo y Diego Vicente Velez Mendoza en el año 2000 y en ella se destacan los siguientes resultados:

“El peso unitario del hormigón con aire incluido tiene una disminución con respecto al peso unitario de un hormigón normal, esta disminución puede variar de un 3% a un 5%.”(Aguirre Burneo & Velez Mendoza, 2000). Por lo tanto, aunque no se

emplearán aditivos inclusores de aire para la presente conviene, además de, realizar la medición del contenido de aire atrapado en forma natural, debemos determinar el peso unitario tanto para la mezcla fresca como para las etapas de pruebas mecánicas. De esta forma se puede aportar con la influencia del aire atrapado en el peso unitario del hormigón para hormigones sin aditivos.

“A tempranas edades el hormigón con aire incluido presenta la misma resistencia que un hormigón normal, a los 14 días es un 3% menor, a los 28 días es apreciablemente menor (un 15% menor), sin embargo, a los 56 días se recupera ligeramente, reduciéndose el margen de diferencia en contra con respecto al hormigón normal.” (Aguirre Burneo & Velez Mendoza, 2000). Es decir que la ganancia de resistencia en el tiempo se vuelve más “lineal”. Esto nos permite ver la conveniencia de estudiar la evolución de la resistencia para hormigones con material extrafino.

1.3.5 La abrasión en los agregados y su influencia en el hormigón

Por Santiago Mauricio Encalada Figueroa y Gerald Gonzalo Fuentes Naranjo en el año 2000. En esta disertación de grado, dentro del análisis del agregado grueso se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1.3 Características del agregado grueso de las minas.

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

Mina	Granulometría (ASTM C-33&136)	% Abrasión	Desgaste al ataque de sulfatos	Observaciones
Cusucu	Cumple	54	1.49	No cumple abrasión
Pifo	Cumple	26	1.05	OK
Hidalgo-Hidalgo	Cumple	33	0.19	OK
Guayllabamba	Cumple	16	0.20	OK

Tabla 1.4 Características del agregado fino de las minas.

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

Mina	Módulo de finura	Material que pasa el tamiz #200	Desgaste al ataque de sulfatos	Observaciones
Cusucu	3.1	19.58	6.35	Demasiado material fino que pasa por el tamiz #200 (puede deberse a exceso de lavado o fuga en el tamiz.
Rumicucho	2.4	17.46	N/D	
Pifo	2.6	13.96	1.05 (estimado)	
Hidalgo-Hidalgo	2.6	13.88	0.19 (estimado)	
Guayllabamba	2.8	11.07	0.20	

Se observa que los agregados gruesos de las minas de Guayllabamba y Pifo son los más resistentes a la abrasión. Preferiremos el material de Pifo y sus canteras aledañas por cuanto el de Guayllabamba presentaba gránulos de dos colores, gris ocre y blanquecino, probablemente de dos materiales diferentes y, el último tal vez con algún contenido de cal. Si bien cualquiera de los dos cumpliría por separado con la resistencia a abrasión deseada, para dosificaciones de laboratorio deberían estar proporcionados de igual manera en todas las mezclas para obtener resultados consistentes.

“La determinación de la abrasión en los agregados gruesos es un factor que ayuda en buena parte a determinar la calidad del agregado y podemos ver que influye en la resistencia del hormigón, especialmente en altas resistencias de diseño. Se concluye entonces que mientras mas alta se la resistencia del hormigón, la calidad del agregado tendrá una mayor influencia. Se recomienda la utilización de agregado grueso con un porcentaje máximo de desgaste a la abrasión de 33% para la fabricación de hormigones con resistencias que oscilen entre 280 y 350 Kg/cm², y del 40% para hormigones de menor resistencia.”(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000). Dicho resumen lo podemos apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla 1.5 Resistencia del hormigón vs. porcentaje de abrasión.

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

RESISTENCIA vs. ABRASIÓN		Resistencia obtenida para diferentes resistencias de diseño			
Procedencia	% de abrasión	140 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²	350 Kg/cm ²
Guayllabamba	16%	140	210	280	350
Pifo	26%	135	202	263	326
Hidalgo & Hidalgo	33%	132	191	251	302
Mezcla Pifo+Cusucu	40%	130	184	236	284
Cusucu	54%	126	179	226	274

Se observa que se realizó dosificaciones con el material de Guayllabamba, con el objeto de obtener la relación agua/cemento para dosificar con los materiales de las otras canteras. Por lo tanto resulta conveniente, para una investigación, partir de las dosificaciones realizadas en esta monografía para conocer la relación agua/cemento que se debe emplear para mezclar hormigones con agregados provenientes de las minas enunciadas.

1.3.6 Hormigón Autocompactante

En esta monografía, elaborada por Ing. Mario Andrés Puente Machado e Ing. Paulo Fabián Salazar Viteri en el año 2001, encontramos entre sus más destacadas conclusiones:

“Al realizar los ensayos con el agregado fino proveniente de Guayllabamba, se encontró que cumplía casi con todas las normas de calidad, exceptuando el desgaste máximo al ataque de sulfatos que es del 13%, con cual indica que no cumple con el 12% máximo establecido; mientras que en lo referente a contenido de material fino que pasa por el tamiz #200, si cumple con un valor de 2.5%, inferior al máximo tolerado de 5%, para hormigones no sujetos a abrasión.”(Puente Machado & Salazar Viteri, 2001) El material de Guayllabamba, por lo tanto no es conveniente

para la elaboración de la presente, debido a que se requiere partir de arena y ripio con alto contenido de material fino para obtener la materia prima para nuestros ensayos, a la vez que estos reflejen el comportamiento de hormigones con agregados sin modificar, provenientes de la fuente escogida.

“Se emplearon diversas dosificaciones con aditivos reductores de agua, de tipo superplastificante autocompactante, las cuales dieron los mejores resultados para el porcentaje medio de aditivo recomendado por el fabricante así, con bajos porcentajes de aditivo se manifestó compactación insuficiente mientras que, con altos porcentajes de aditivo se presentó excesiva segregación debido al aumento de fluidez del hormigón; ambos fenómenos redundaron en reducción de la resistencia final del hormigón.”(Puente Machado & Salazar Viteri, 2001). Hemos optado por omitir el uso de aditivos químicos, debido a que pueden presentar variables adicionales, en caso de no ser dosificados en un rango óptimo. El comportamiento esperado para la incorporación de materias perjudiciales, como lo es el caso del material fino que pasa por el tamiz #200, suponemos que será inferior en prestaciones desde cierto porcentaje de material fino añadido, sin existir porcentajes óptimos de adición.

Criterios más detallados acerca del análisis e interpretación de los resultados de estas disertaciones los hemos desarrollado en el capítulo 4.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE PIFO, PINTAG Y POMASQUI.

2.1. Memoria de procedimientos de obtención y almacenaje

2.1.1 Descripción de las canteras

Visitamos las canteras de Pomasquí a continuación enumeradas:

Mandingo 1: Ubicada al Noroeste de la carretera Manuel Cordova Galarza a 6 km. al norte de San Antonio del Pichincha en las faldas del cerro de Mandingo. Presenta formaciones metamórficas de material con alto contenido de cascajo, útil principalmente para arena de enlucidos, su coloración es amarilla y no resulta muy recomendable para la elaboración de hormigones. Se produce también subbase; la extracción de materiales se realiza en forma rudimentaria, empleando cargadoras frontales, se realizan voladuras con explosivos.



Foto 2.1 Mina de Mandingo

Hormigonera Quito: Se encuentra a 600m al norte de Mandingo, en donde hallamos material similar al de mandingo, pero con aprovechamiento del material grueso, que gracias al uso de trituradoras permite elaborar ripio con granulometría conveniente, es el material utilizado por la planta de la hormigonera Quito. El material no está disponible para la venta al público.



Foto 2.2 Trituradora en mina de Hormigonera Quito

Rumicucho: Esta ubicada al pie de la loma del mismo nombre, presenta andesita de coloración predominantemente rojiza, también se encuentra material azul el cual es preferido por los clientes, debido a una supuesta mayor resistencia mecánica. Se encuentran otras canteras al pie de la misma loma, de las cuales consideramos a la de Rumicucho la más representativa debido al tamaño de su yacimiento.



Foto 2.3 Vista parcial de la loma de Rumicucho

Cusuco: Se encuentra al oriente de San Antonio, muy cerca del río. A diferencia de Rumicucho y sus minas aledañas, posee principalmente material basáltico azul, probablemente debido a encontrarse a menor elevación que estas; presenta un material considerado de mejores características.



Foto 2.4 Estratigrafía típica de la mina de Cusuco

En Tumbaco visitamos la mina de Caizán, localizada al nororiente de la población, en el barrio de Collaqui. En Caizán se encuentra material rodado del río San Pedro, proveniente de las erupciones del Cotopaxi, el material que encontramos es arena negra, ripio natural con gradación aceptable y piedra bola.



Foto 2.5 Explotación de material en la mina de Caizán

En las zonas de influencia de la formación **Antisana** visitamos las minas de Pifo, Palugo, y Ubillús:

Agregados Rocafuerte: De propiedad de “la cemento nacional”, ubicada en Pifo, es la más representativa de las minas de este sector, por la calidad de su materia prima, tamaño de yacimiento y características técnicas de explotación. Posee trituradoras y bandas transportadoras para el procesamiento del material.



Foto 2.6 Vista parcial de las instalaciones en mina de Agregados Rocafuerte

Palugo: Está localizada cerca del poblado de San Roque de Palugo a 2 Km. hacia el sur de Pifo, en camino a Pintag, el material encontrado tiene similares características que el de agregados Rocafuerte, sin embargo la mina no posee trituradora.



Foto 2.7 Zarandas en la mina de Palugo

Volcán 1: Se encuentra en las inmediaciones del volcán Antisana. Es una concesión de BYP internacional, existen otras minas aledañas pero que no cuentan con las instalaciones adecuadas para extracción y trituración, por lo que son subexplotadas.



Foto 2.8 Yacimientos de la mina El Volcán 1

2.1.2 Procedimientos de obtención

Al visitar las canteras, se nos informó cuales tenían los agregados necesarios para la fabricación de hormigón. Preferimos que una misma cantera disponga de arena y ripio, ya sean cribados o de trituración, para que una vez que se elija alguna, los materiales tengan igual gravedad específica. El haber asumido esto no fue cierto, pues hubo variación entre ripio y arena, como lo veremos más adelante.

De las minas visitadas, las que producen estos dos materiales, disponibles a la venta al público y adecuados para la fabricación de hormigón son: Cusuco, Rumicucho, Agregados Rocafuerte (Pifo) y ByP internacional (Volcán 1).

Procedimos a tomar muestras pequeñas de las minas citadas, en cantidad suficiente para los ensayos que verifiquen el cumplimiento de las normas sobre agregados.

“Los métodos de toma de muestras en mina de acuerdo a AASHTO T-2 son:

- Directamente desde el flujo de producción.
- Toma de una sección en la banda transportadora (estando ésta apagada).
- Recolección en los montículos de stock con cargadora.
- Toma manual directa desde los montículos (menos recomendada).”(North Dakota, Department of transport, 2015). Video recomendado www.youtube.com/watch?v=qmCBnteY7NA .(Oklahoma Highway Construction Materials Technician Certification Board, 2012)

Para las minas de Cusuco y Rumicucho empleamos toma manual desde el stock de material, ya que no disponían de banda transportadora y no fue posible que una cargadora realice el trabajo de recolección, porque que estaban ocupadas.

Para las minas de Agregados Rocafuerte y Volcán 1 usamos toma desde la salida de las bandas transportadoras, debido a que no se podía detenerlas para tomar muestras porque no teníamos autorización para hacerlo. Este método lo asumimos como que fuera directamente desde el flujo de producción.

Las muestras se guardaron en sacos de yute, teniendo cuidado de poner al interior rótulos de identificación, así como evitar pérdidas y contaminación.

Con estas muestras se procedió a los ensayos de laboratorio descritos en las secciones 2.2 a 2.11, y una vez escogida la cantera, se regresó a tomar una muestra más grande para su procesamiento, almacenaje y elaboración de hormigones.

2.1.3 Cantidad necesaria de agregados

Se determinó la cantidad necesaria de agregados conociendo:

- El número de dosificaciones requeridas (12).
- El volumen para obtener mínimo 15 cilindros y 2 viguetas.

- Cantidad aproximada de ripio compactado (52%) y estimación del volumen de pasta, de acuerdo a agua neta y relación agua/cemento promedio, y peso unitario de una cajoneta de cemento.
- Peso unitario suelto y compacto de los agregados.
- La cantidad de arena requerida para obtener el suficiente volumen de material fino que pasa por el tamiz N°200.
- Este análisis representará un aproximado de dosificación en volumen.

Tabla 2.1 Volumen de hormigón necesario

Volumen de hormigón necesario (litros)										
15	Cilindros	Diámetro	1.5	Longitud	3	B	Volumen	5	Total	80
2	Viguetas				6	1.5	13.5			27
		10%	adicional							117
Para	12	mezclas					(litros)	1406		

$$CRipio = 0.175 + .47 * \tan^{-1} \left(\frac{TMA}{11.5} \right) - \frac{MF - 2.4}{10}$$

Formula 2.1 cantidad de ripio

Anexo 8

Tabla 2.2 Volumen de ripio suelto necesario

Origen	Volcán 1	
TMA=	19.05	mm
MF=	3.74	modulo de finura de la arena
Ripio comp=	0.524	m³/m³
PUS=	1.143	T/m³
PUC=	1.338	T/m³
Ripio suelto=	0.613	m³/m³
Total=	862	litros (Suelto)
Margen=	30%	Distribución granulométrica
Ripio total=	1121.05	litros

Tabla 2.3 Volumen de arena suelta necesaria

Volumen de arena		
Ripio comp=	0.524	m³/m³
1-Vripio=	0.476	m³/m³
%vacRipio=	42.90%	
VH-Vripio(tot)=	0.701	m³/m³
%vacios arena	32.75%	
Pasta=	0.235	m³/m³ (estimado)
ArenaComp=	0.466	m³/m³
PUS=	1.354	T/m³
PUC=	1.552	T/m³
ArenaSuelta=	0.534	m³/m³
%MF200	10.00%	Necesario para mezclas
%MF200=	7.80%	Contenido natural
Margen	40%	No tamizable, o pérdidas
ArenaSuelta=	1.141	Para llegar a contenido
Arena total=	1604	litros

Entonces determinamos que necesitamos 1.2 m³ de ripio y 1.6 m³ de arena.

2.1.4 Procesamiento del material

- Al material obtenido lo secamos al sol, extendiendo separadamente tanto la arena como el ripio en los exteriores del laboratorio durante 3 días, revolviéndolo diariamente.
- Tomamos la parte superior, estando ya seca para proceder al tamizado.
- Se paso el agregado grueso por la tamizadora mecánica, usando las mallas de 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°30, N°200 y bandeja. Como la tamizadora admitía solo 7 pisos, hicimos fabricar unos brazos sujetadores de mayor dimensión, pero esta modificación no la recomendamos porque la tamizadora se somete a esfuerzos mayores.



Se fabricaron brazos más grandes para admitir 8 niveles

Foto 2.9 Tamizadora mecánica

- Cada fracción se almacenó en sacos de yute, debidamente rotulados por dentro. La fracción de la bandeja (material que pasa el tamiz N°200) se guardó en fundas de plástico.

- Se observó un remanente más grande que 1” en la fracción de 1”, por lo que repasó esta fracción por la serie 1 ½”, 2 ½”, 1” y bandeja, se usó el tamiz de 2 ½” como separador para reducir el número de ciclos. De esta manera, obtuvimos una cantidad de material de 1 ½”.
- Al agregado fino también se lo paso por la tamizadora, con las cribas N°4, N°8, N°16, N°30, N°60, N°100, N°200 y bandeja. Asimismo se guardaron los materiales en sacos de yute y fundas de plástico.
- El resto del material se siguió secando al exterior y se culminó el proceso de tamizado.
- No se necesitó realizar cuarteo, porque la segregación de tamaños no influye para este procedimiento de separación.

2.2. Granulometría por mallas

2.2.1 Conceptos básicos:

- “Es la determinación de la distribución al peso de los tamaños de las partículas de un material.
- Se lo puede realizar por tamizado en seco o por lavado, con agitación manual o mecánica o bien por métodos de sedimentación.”(Universidad de Oviedo, España, 2005).
- “El tamaño que pasa por cada malla es el de la dimensión “mediana” de los granos o menor esto es la dimensión **a**.”(Lara Carrera, 1980).

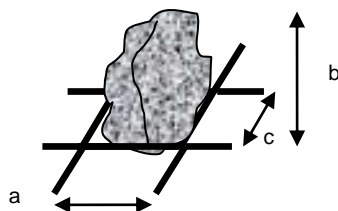


Gráfico 2.1 Tamaño del agregado

- “Si el tiempo de agitación de los tamices es muy corto, no pasará todo el material que podría atravesar la malla, debido a que se produce congestión de 2 o más partículas sobre cada abertura, esto ocurre especialmente para las fracciones finas. La norma ASTM C136 establece que el tiempo de tamizado es variable hasta que el material de menor tamaño a cada tamiz que quede sea menor al 1% de la masa retenida en dicho tamiz.”(COGUANUR, 2015).
- “El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado.” (González Salcedo, 2008). Puede retener del 5% al 15% del material, dependiendo de su abertura
- “Según ASTM-C33, el tamaño máximo del agregado es aquel que cumple, al menos, una de dos condiciones:
 - Será el tamaño de abertura “a” inmediatamente inferior a aquel por el que pase todo el material, pero en el tamiz de abertura “a” se retenga el 5% o menos.
 - Será el tamaño de abertura “a” por el que pase todo el material, pero en el tamiz inmediatamente inferior se retenga el 10% o más.”(Hispavista, 2014). Esto se puede ilustrar de la siguiente manera:

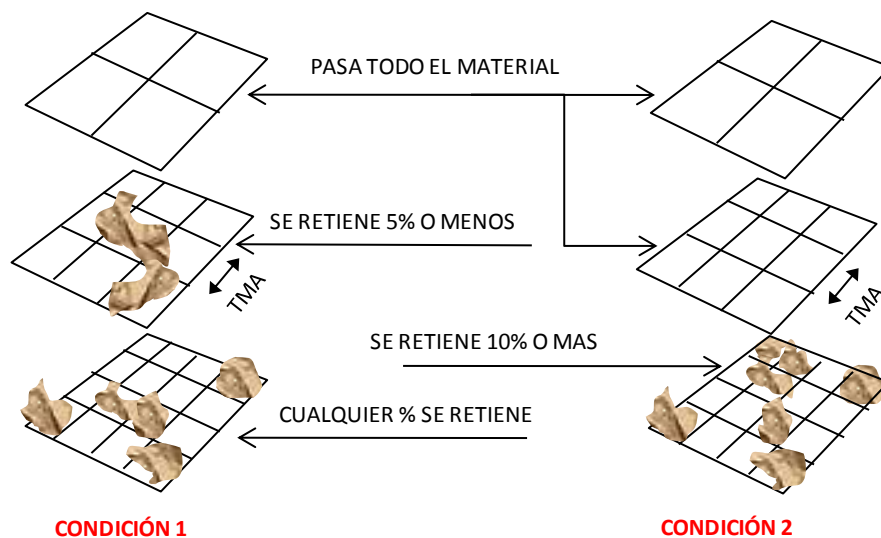


Gráfico 2.2 Tamaño máximo del agregado

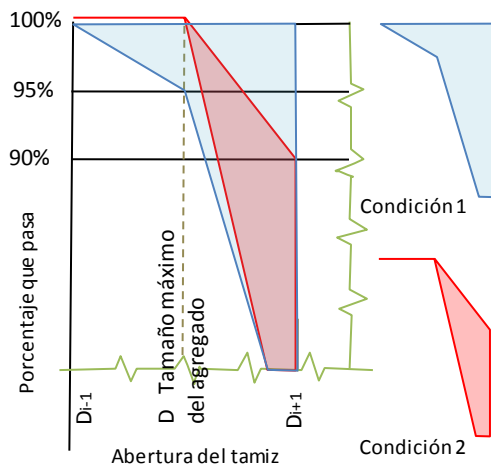


Gráfico 2.3 Representación tamaño máximo del agregado

- “Según MTOP, tamaño máximo del agregado es la abertura de malla estándar en la cual el porcentaje retenido acumulado es igual o inmediatamente menor al 5%.” (MOP, 1976).
- Las aberturas de los tamices están normadas según los códigos ISO, ASTM, INEN, DIN, UNE, JIS, CIRSOC, AFNOR, GOST, etc.
- Se considera como arena a todo material de tamaño máximo menor o igual que el tamiz #4 (4.75 mm).
- “El módulo de finura es la suma de los porcentajes retenidos acumulados dentro de la serie de Tyler, desde el tamiz #4 (4.75mm) al #100 (0.149mm).” (COGUANUR, 2015). Esto significa que se deben utilizar los tamices #4, #8, #16, #30, #50, y #100.
- El módulo granulométrico, que se refiere a cualquier material granular, es la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamaño máximo del agregado, hasta un tamaño mínimo establecido, y las aberturas de los tamices deben seguir una razón de $\frac{1}{2}$ de mayor a menor.
- Realizando correcciones de rango entre tamices, cuando se tenga la determinación de la granulometría con tamices que no estén en relación de $\frac{1}{2}$ (por ejemplo $1 \frac{1}{2}$ ”,

1", 3/4", 1/2", etc.) podemos generalizar el módulo granulométrico, corrigiéndolo con un ancho de banda proporcional a la razón geométrica entre aberturas mediante la expresión:

$$MG = \sum_{i=1}^{\#tamices} \frac{1 - P_i}{2 \cdot \ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{d_{i-1}}{d_{i+1}}\right) \text{Ecuación 2.2}$$

Siendo:

MG = Módulo granulométrico del material

#tamices = Número de tamices empleados en el ensayo

Pi = Fracción que pasa el tamiz de abertura di

di-1 = Abertura del tamiz superior, para el mayor tomar como 2xd1

di+1 = Abertura del tamiz inferior.

- De esta manera, los módulos granulométricos de dos o más materiales podrán compararse y realizar operaciones entre ellos para mezclas de agregados, aunque las series utilizadas sean diferentes, siempre y cuando se mantenga constante el tamaño mínimo establecido para la comparación.

2.2.2 Equivalencia de tamices

De varios autores hemos recopilado las equivalencias de la numeración y apertura de los tamices empleados en el análisis de materiales granulares, los cuales enumeramos en la siguiente página, las correspondencias en algunos casos son solamente aproximadas.(Universidad de Oviedo, España, 2005),(Barnices Valentine, 2013),(Santa Ana de Bolueta, 2013),(Nuñez, 2011),(Wikipedia, 2014)

Las filas resaltadas en amarillo corresponden a los tamices más utilizados en el análisis de agregados para hormigón, adicionalmente, las resaltadas en verde, a tamices empleados en mecánica de suelos.

Tabla 2.1 Listado de tamices para las normas internacionales:

(Universidad de Oviedo, España, 2005), (Barnices Valentine, 2013), (Santa Ana de Bolueta, 2013), (Nuñez, 2011), (Wikipedia, 2014).

tamiz (mm)	Abertura (pulg)	ISO Internacional (CT24 Luz(mm))	ISO 565 (INT'L ISO (TL82):1983)	UNE 7050 España Luz(mm)	DIN Alemania Numeración	DIN 1171 Luz (mm)	DIN 4148 Luz (mm)	ASTM C33-85 Numeración	ASTM C33-85 Luz(mm)	Std TYLER Numeración	TYLER Luz (mm)	Britanica BS 410	Britanica BS 410 Luz (mm)	Francia AFNOR XIII- 51 Luz(mm)	Rusia GOST Luz (mm)
101.60	4 "							4 "	101.6						
88.90	3 1/2"							31/2"	88.9						
76.20	3 "			80				3 "	76.2						
63.50	2 1/2"							21/2"	63.5						
50.80	2 "							2 "	50.8						
38.10	1 1/2"			40				11/2"	38.1						
25.40	1 "			25			25	1 "	25.4			1	25.4		
22.23	7/8"	22.40						7/8"	22.23	7/8"	22.43	7/8"	22.23		
19.05	3/4"			20			20	3/4"	19	3/4"	18.85	3/4"	19.05		
18.00	45/64"						18								
15.88	5/8"	16.00		16			16	5/8"	15.88			5/8"	15.88		
12.70	1/2"			12.5			12.7	1/2"	12.7			1/2"	12.7		
9.53	3/8"			10		10		3/8"	9.5						
8.00	5/16"	8.00	8	8		8	7.93		7.93	2.5	7.923				
6.35	1/4"		6.3	6.3		6	6.35	3	6.35			3	6.35	6	
5.60	11/50"		5.6					3.5	5.66	3.5					
5.00	13/64"	5.00		5		5	5							5	
4.75	3/16"		4.75					4	4.75	4		3.5			
4.00	5/32"	4.00	4	4		4	4	5	4	5	3.962	4		4	
3.35	.1320		3.35	3.2		3.2	3.15	6	3.36	6		5	3.18	3.15	
2.80	.1100	2.80	2.8					7	2.83	7	2.794	6	2.812		
2.36	.0930		2.36	2.5		2.5	2.5	8	2.36	8	2.362	7	2.411	2.5	2.5
2.00	.0790	2.00	2	2	3	2	2	10	2	9	1.981	8	2.057	2	2
1.680	.0661		1.7	1.6			1.6	12	1.68	10	1.651	10	1.6	1.6	1.6
1.410	.0555	1.400	1.4		4	1.5		14	1.41	12	1.397	12	1.405		
1.250	.0492			1.25			1.25					14		1.25	1.25
1.180	.0469		1.18		5	1.2		16	1.19	14	1.168	14	1.204		
1.000	.0394	1.000	1.000	1	6	1	1	18	1	16	0.991	16	1.003	1.000	1
0.841	.0331		.850	0.800			.800	20	0.84	20	0.883	18	.830	.800	.800
0.710	.0278	0.710	.710		8	.750		25	0.71	24	0.701	22	.699		.700
0.600	.0232		.600	0.630	10	.600	.630	30	0.6	28	0.589	25		.630	.630
0.470	.0185				11	.540		30		28					
0.465	.0183	0.500	.500	0.500	12	.500	.500	35	0.5	32	0.495	30	.500	.500	.500
0.437	.0172				14	.430		40		35		35			
0.425	.0165		.425	0.400	16	.400	.400	40	0.42	35	0.417	36	.422	.400	.400
0.355	.0139	0.355	.355					45	0.354	42	0.351	44	.353		.355
0.310	.0122			0.320			.315							.315	.315
0.300	.0117		.300	0.31	20	.300		50	0.297	48	0.294	52	.297		
0.250	.0098	0.250	.250	0.250	24	.250	.250	60	0.25	60	0.246	60	.251	.250	.250
0.212	.0083		.212					70	0.21	65	0.208	72	.211		
0.200	.0079			0.200	30	.200	.200							.200	.200
0.180	.0070	0.180	.180					80	0.177	80	0.175	85	.178		.180
0.150	.0059		.150	0.160	40	.150	.160	100	0.149	100	0.147	100		.160	.160
0.125	.0049	0.125	.125	0.125	50	.120	.125	120	0.125	115	0.124	120	.124	.125	.125
0.105	.0041		.106	0.100	60	.100	.100	140	0.105	150	0.104	150	.104	.100	.100
0.090	.0035		.090		70	.090	.090	170	0.088	170	0.088	170	.089		
0.080	.0031			0.080			.080								.080
0.074	.0029		.075		80	.075	.071	200	0.074	200	0.074	200	.076		.071
0.063	.0024	0.063	.063	0.063	100	.060	.063	230	0.062	230	0.062	240			.063
0.053	.0021		.053	0.050	110	.050	.050	270	0.053	270	0.053	300	.053	.050	.056
0.044	.0017	0.045	.045			.045	.045	325	0.044	325	0.044	350	.044		.045
0.040	.0016			0.040	130	.040	.040	350		350				.040	
0.037	.0015		.038		150	.037		400	0.037	400	0.037	400	.038		
0.032			.032					450				440	.032		
0.025	.0010		.025					500							

2.2.3 Normas de distribución granulométrica agregado grueso

Hemos recopilado los requisitos de las normas AASHTO T27, MTOP 901-2.1, INEN 872 y NTG-41007

Tabla 2.2 Normas de distribución granulométrica agregado grueso.

(Ohio Department of Transportation, 2014)

Nº de tamaño	Tamices	Malla mm	4 "		3 1/2"		3 "		2 1/2"		2 "		1 1/2"		1 "		3/4"		1/2"		3/8"		Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	N100	N200	Tam Máximo	Mgranulomet desde D a Nº100
			min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	min	Max	4.763	2.381	1.191	0.595	0.297	0.149	0.074		
1	3 1/2"	88.9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9.31	8.79
2	2 1/2"	63.5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.94	8.52
2.4	3 1/2"	88.9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.63	7.97
3	2 "	50.8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.52	8.06
3.57	2 "	50.8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7.79	7.04
4	1 1/2"	38.1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.10	7.65
4.67	1 1/2"	38.1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7.53	6.85
5	1 "	25.4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7.76	7.23
5.6	1 "	25.4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7.41	6.90
5.7	1 "	25.4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7.10	6.45
6	3/4"	19.05	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7.10	6.68
6.7	3/4"	19.05	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6.78	6.23
6.8	3/4"	19.05	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6.61	5.90
7	1/2"	12.7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6.40	5.94
7.8	1/2"	12.7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6.34	5.73
8	3/8"	9.525	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6.01	5.50
8.9	3/8"	9.525	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5.73	4.91
9	Nº4	4.763	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5.05	4.36
10	Nº4	4.763	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4.03	2.92
T27	Nº4	4.763	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3.27	2.36
696	Nº4	4.763	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3.25	2.18
696	Nº4	4.763	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3.49	2.02
2.7	Nº8	2.381	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3.28	1.76
2.7	Nº8	2.381	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.19	1.61
Arena Caliza	Nº4	4.763	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.19	1.61
Arena playa	Nº12	1.588	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.19	1.61

Gráfico 2.4 Curvas granulométricas para las designaciones 1 a 10

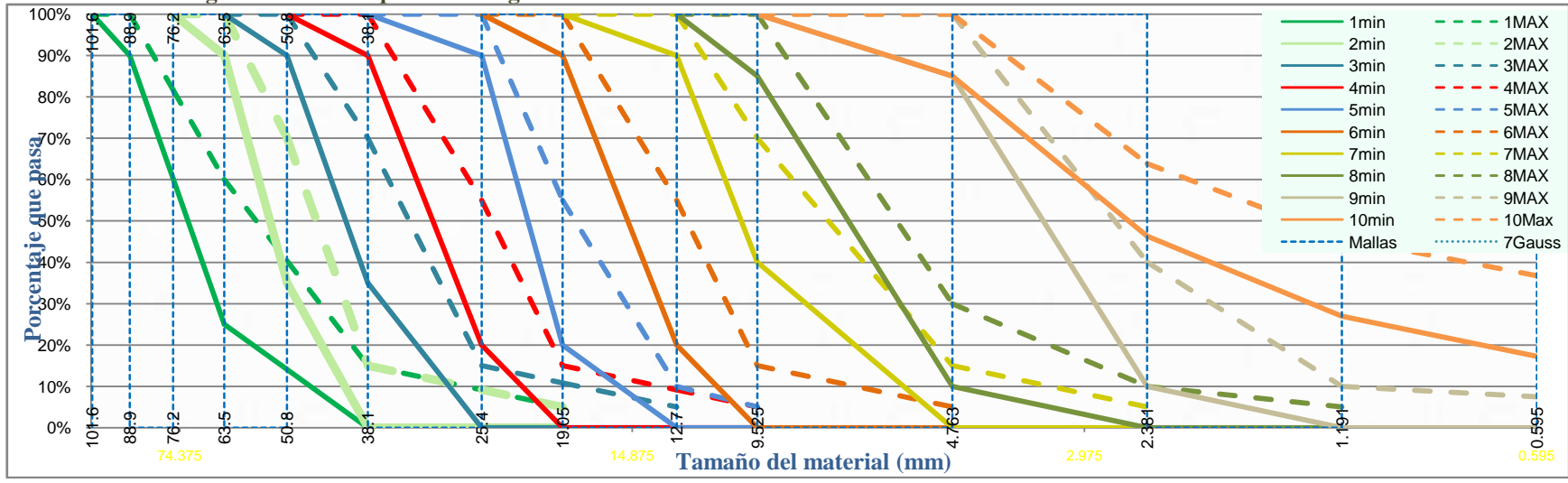
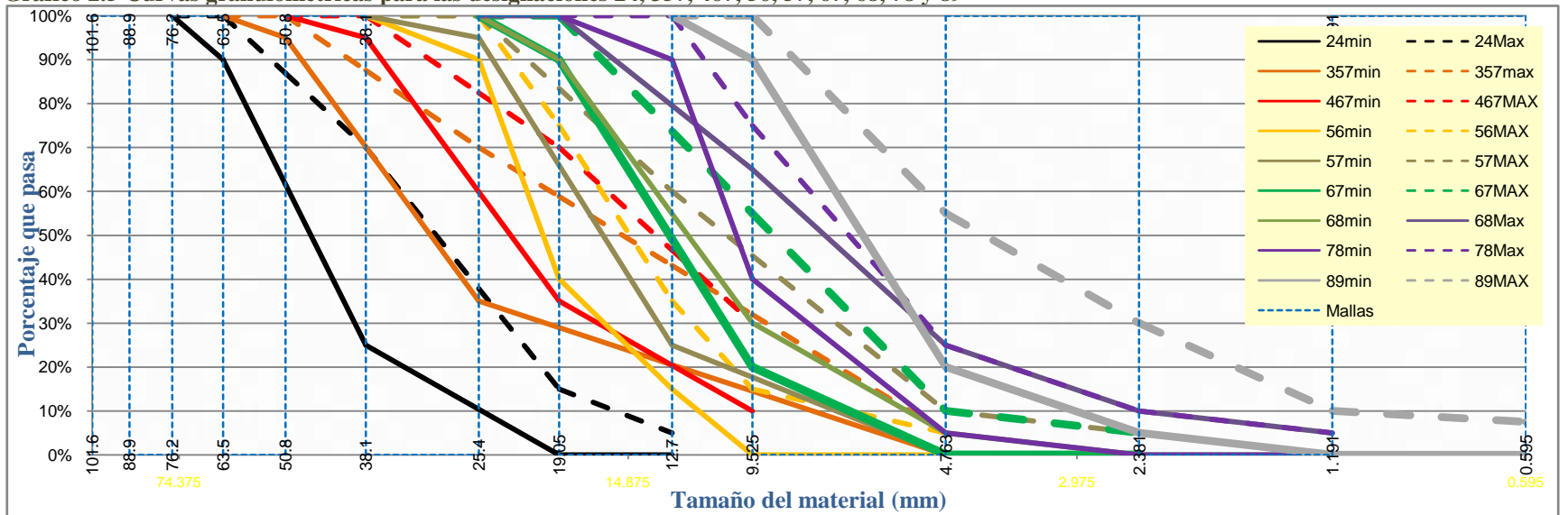


Gráfico 2.5 Curvas granulométricas para las designaciones 24, 357, 467, 56, 57, 67, 68, 78 y 89



2.2.4 Normas de distribución granulométrica agregado fino.

Tabla 2.3 Porcentaje que pasa los tamices según AASHO T 27 e INEN 872.

(MOP, 1976)

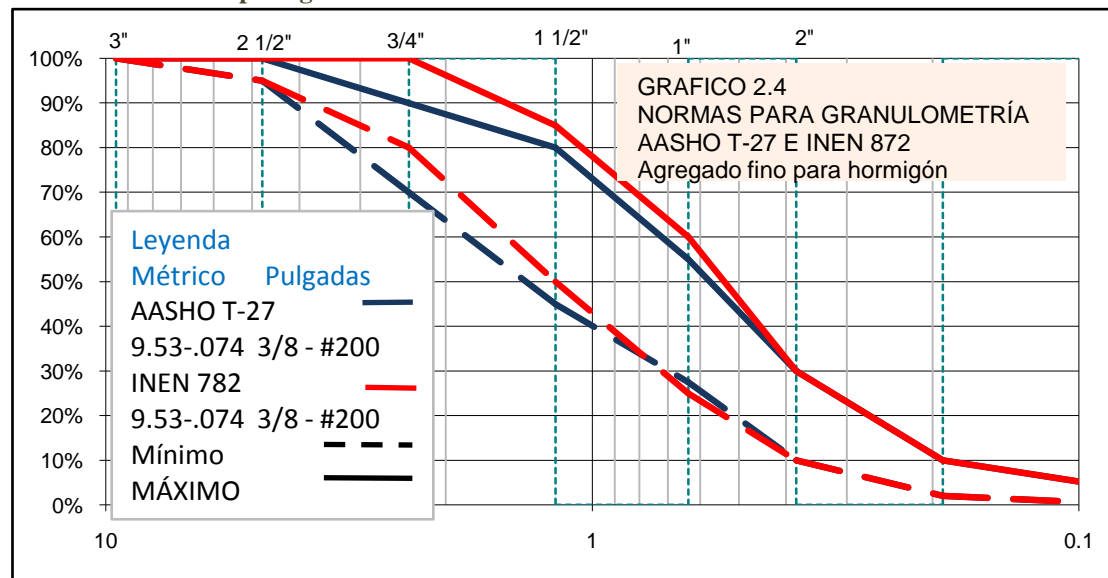
AGREGADO FINO

Rangos de porcentaje en peso que pasan por tamices

norma		AASHO T 27 MOP f001 901-2.2		INEN 872 (tabla 1)	
Tamices	mm	mín	Máx	mín	Máx
3/8"	9.53	100%	100%	100%	100%
N° 4	4.76	95%	100%	95%	100%
N° 8	2.38	70%	90%	80%	100%
N° 16	1.19	45%	80%	50%	85%
N° 30	0.64	28%	55%	25%	60%
N° 50	0.38	10%	30%	10%	30%
N° 100	0.19	2%	10%	2%	10%
N° 200	0.074	0%	3% (5%)	0%	3% (5%)
LEYENDA					

Los valores en azul han sido interpolados

Gráfico 2.6 Normas para granulometría AASHO T-27 e INEN 872



2.2.5 Granulometría para los agregados gruesos de las minas estudiadas.

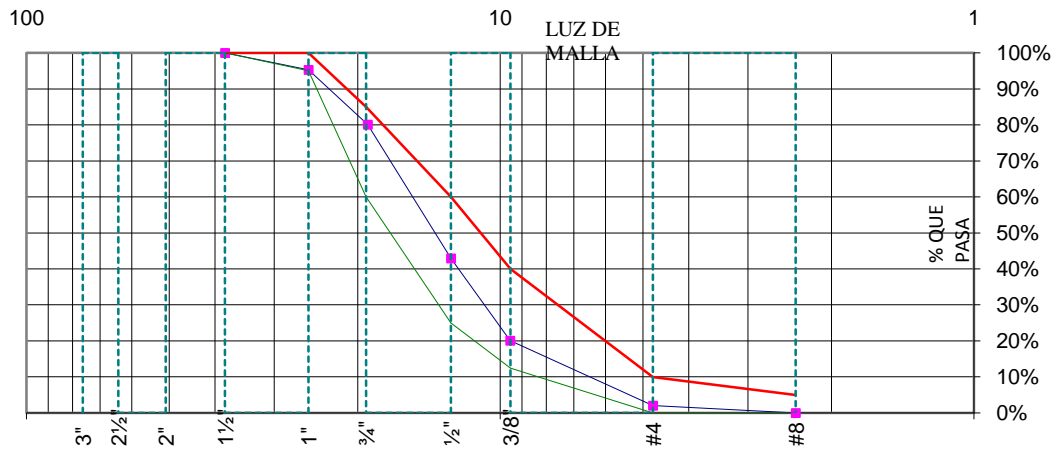
2.2.5.1. Mina de Cusuco

Tabla 2.4 Granulometría agregado grueso mina de Cusuco

Cantera	Cusuco	Norma	MTOP 901-2.1		INEN 872	
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	Cumple? TMA 1"
1 1/2"	38.10	0	0	0.00%	100.00%	SI
1 "	25.40	472	472	4.71%	95.29%	SI
3/4"	19.05	1522	1994	19.90%	80.10%	SI
1/2"	12.70	3724	5718	57.05%	42.95%	SI
3/8"	9.53	2286	8004	79.86%	20.14%	SI
N° 4	4.76	1810	9814	97.92%	2.08%	SI
<N° 4	2.38	208	10022	100.00%	0.00%	SI

TMA=1"

Gráfico 2.7 Agregado grueso mina Cusuco



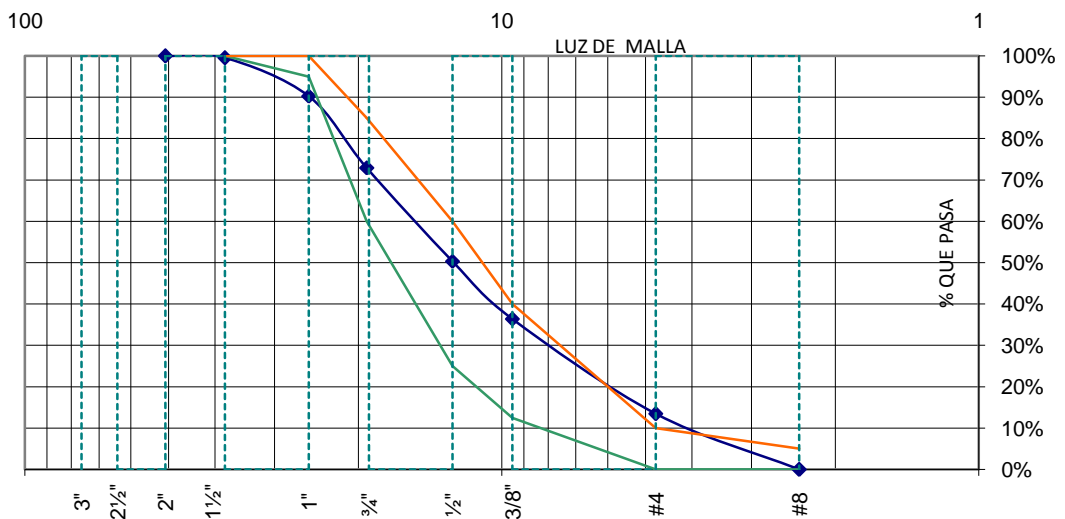
2.2.5.2. Mina de Rumicucho

Tabla 2.5 Granulometría agregado grueso mina de Rumicucho

Cantera		Rumicucho	Norma	MTOP 901-2.1		INEN 872
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	Cumple? TMA 1"
2"	50.8	Nota: para este ensayo se peso directamente la muestra acumulada	0	0.00%	100.00%	
1½"	38.1		86	0.48%	99.52%	NO
1"	25.4		1732	9.71%	90.29%	NO
¾"	19.2		4826	27.07%	72.93%	SI
½"	12.7		8856	49.67%	50.33%	SI
⅜"	9.51		11340	63.60%	36.40%	SI
Nº 4	4.76		15428	86.53%	13.47%	NO
<Nº 4	2.38		17830	100.00%	0.00%	SI

TMA = 1¼"

Gráfico 2.8 Agregado grueso mina de Rumicucho



2.2.5.3. Mina de Pifo, Agregados Rocafuerte

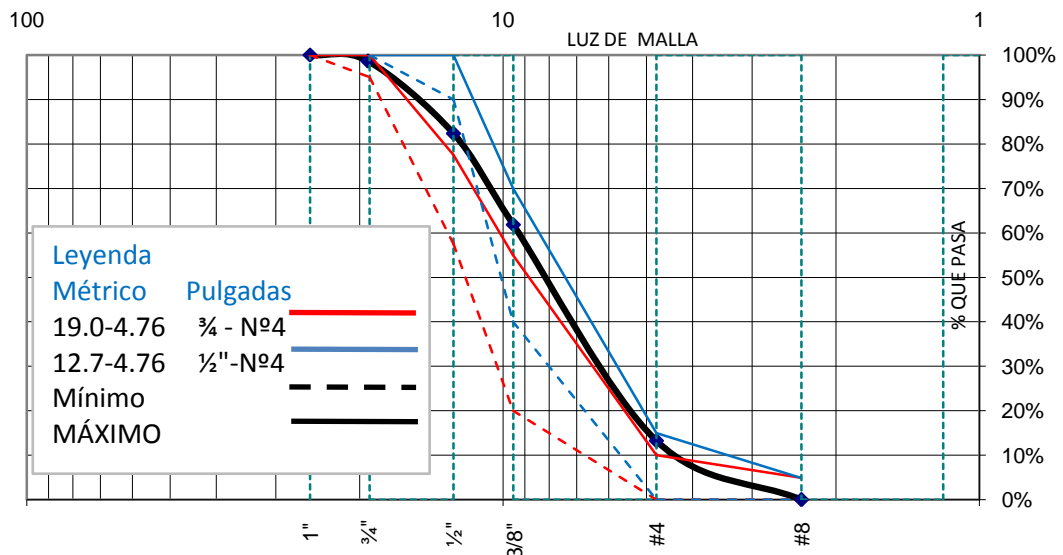
Tabla 2.6 Granulometría agregado grueso mina de Pifo

Cantera	Agregados Rocafuerte, mina de Pifo				Norma	INEN 872	
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	Cumple? TMA 3/4"	Cumple? TMA 1/2"
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	SI	N/A
¾"	19.2	230	230	1.39%	98.61%	SI	NO
½"	12.7	2680	2910	17.65%	82.35%	NO	NO
3/8"	9.51	3380	6290	38.15%	61.85%	NO	SI
Nº 4	4.76	8014	14304	86.75%	13.25%	NO	SI
Nº 8	2.362	2184	16488	100.00%	0.00%	SI	SI

NOTA: Se observa que, aunque no cumple para tamaño máximo de 3/4" ó 1/2" es una granulometría bien graduada en un tamaño intermedio entre 3/4" y 1/2"

TMA = 11/16"

Gráfico 2.9 Agregado grueso mina de Pifo



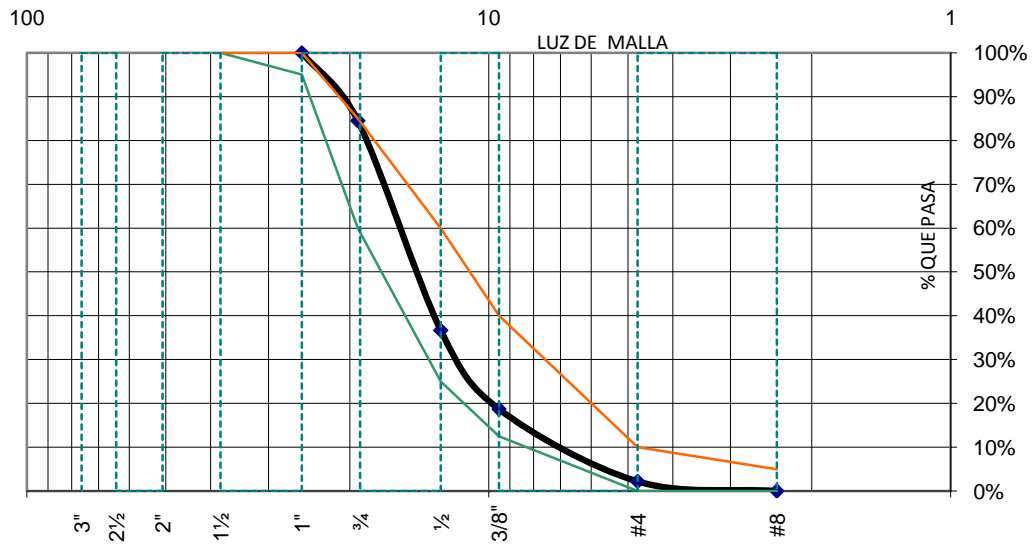
2.2.5.4. Mina de ByP Internacional, El volcán 1

Tabla 2.7 Granulometría agregado grueso mina de El volcán 1

Cantera	ByP Internacional, El Volcán 1				Norma	INEN 872	
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	Cumple? TMA 1"	
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	SI	
¾"	19.2	4024	4024	15.50%	84.50%	SI	
½"	12.7	12408	16432	63.31%	36.69%	SI	
3/8"	9.51	4664	21096	81.28%	18.72%	SI	
Nº 4	4.76	4292	25388	97.81%	2.19%	SI	
<Nº 4	2.38	568	25956	100.00%	0.00%	SI	

TMA = 1"

Gráfico 2.10 Agregado grueso mina de El volcán 1



2.2.6 Granulometría para los agregados finos de las minas estudiadas.

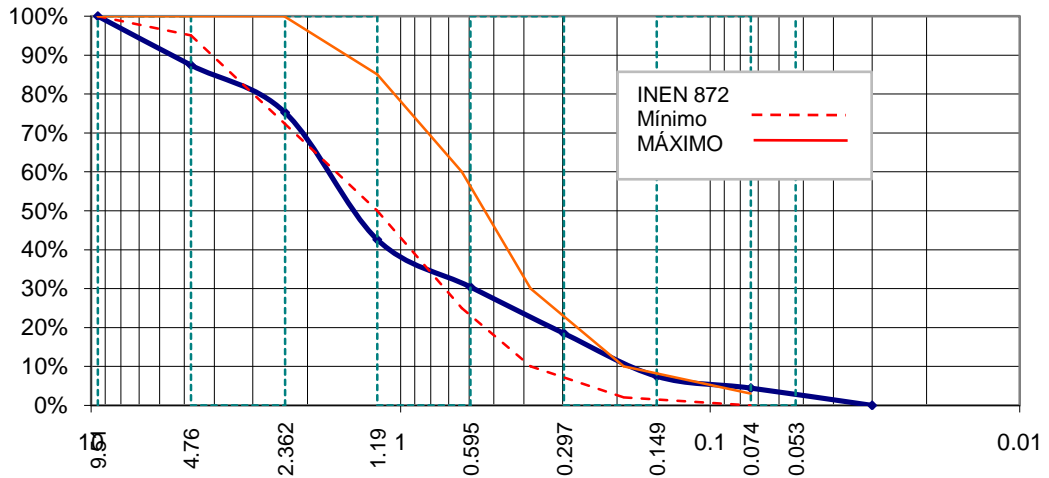
2.2.6.1. Mina de Cusuco

Tabla 2.8 Granulometría agregado fino, mina de Cusuco

Cantera		Cusuco			Norma	INEN 872
Malla	(mm)	Retenido	Retenido	%Retenido	%Pasa	Cumple?
3/8"	9.51	Nota: para este ensayo se peso directamente la muestra acumulada	0	0.00%	100.00%	SI
N• 4	4.76		124	12.58%	87.42%	NO
N• 8	2.362		244	24.75%	75.25%	SI
N• 16	1.19		566	57.40%	42.60%	NO
N• 30	0.595		686	69.57%	30.43%	SI
N• 50	0.297		804	81.54%	18.46%	SI
N• 100	0.149		942	92.56%	7.44%	SI
N• 200	0.074		986	95.54%	4.46%	NO
<N 200	0.03			100.00%	0.00%	
Modulo finura				3.38		

Nota: Se incluyó al tamiz N°200 en seco para estos ensayos.

Gráfico 2.11 Agregado fino, mina de Cusuco



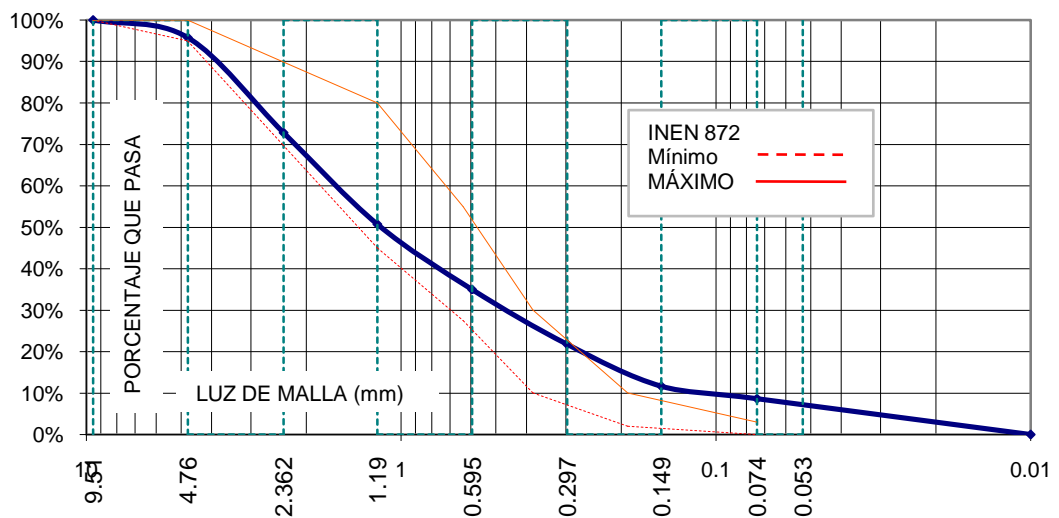
2.2.6.2. Mina de Rumicucho

Tabla 2.9 Granulometría agregado fino, mina de Rumicucho

Cantera		Rumicucho			Norma	INEN 872
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	Cumple?
3/8"	9.51		0	0.00%	100.00%	SI
N• 4	4.76	42	42	4.23%	95.77%	SI
N• 8	2.362	270	270	27.16%	72.84%	SI
N• 16	1.19	490	490	49.30%	50.70%	SI
N• 30	0.595	646	646	64.99%	35.01%	SI
N• 50	0.297	778	778	78.27%	21.73%	SI
N• 100	0.149	908	908	88.37%	11.63%	NO
N• 200	0.074	994	994	91.35%	8.65%	NO
<N• 200	0.01			100.00%	0.00%	

Modulo finura 3.12

Gráfico 2.12 Agregado fino, mina de Rumicucho



2.2.6.3. Mina de Pifo, Agregados Rocafuerte

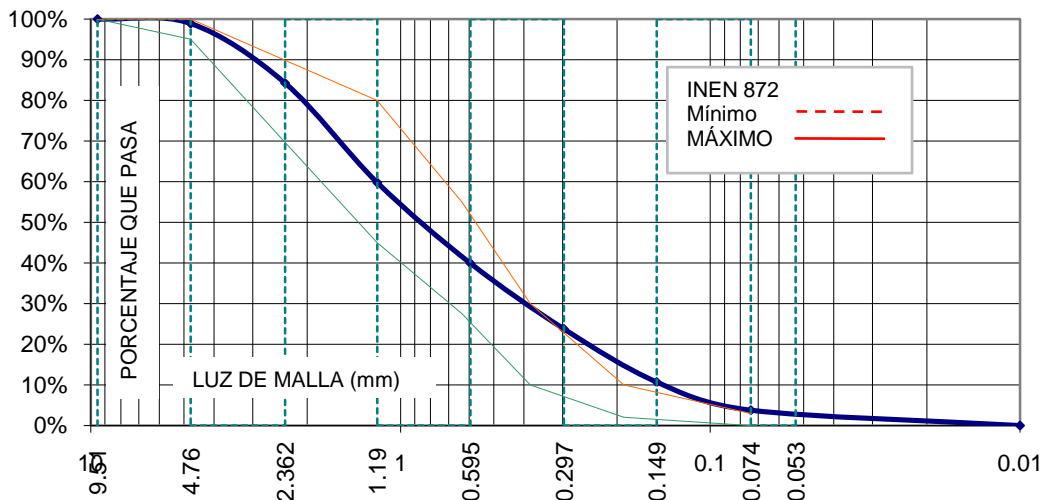
Tabla 2.10 Granulometría agregado fino, Agregados Rocafuerte mina de Pifo

Cantera		Agregados Rocafuerte		Muestra #1	Norma	INEN 872
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	
3/8"	9.51	0	0	0.00%	100.00%	
N• 4	4.76	34	34	1.22%	98.78%	
N• 8	2.362	474	508	18.21%	81.79%	
N• 16	1.19	730	1238	44.37%	55.63%	
N• 30	0.595	522	1760	63.08%	36.92%	
N• 50	0.297	396	2156	77.28%	22.72%	
N• 100	0.149	384	2540	91.04%	8.96%	
N• 200	0.074	172	2712	97.20%	2.80%	
<N 200	0.01	78	2790	100.00%	0.00%	

Cantera		Agregados Rocafuerte		Muestra #2	Norma	INEN 872	
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	% Promedio	Cumple?
3/8"	9.51	0	0	0.00%	100.00%	100.00%	SI
N• 4	4.76	14	14	1.02%	98.98%	98.88%	SI
N• 8	2.362	170	184	13.34%	86.66%	84.22%	SI
N• 16	1.19	314	498	36.11%	63.89%	59.76%	SI
N• 30	0.595	290	788	57.14%	42.86%	39.89%	SI
N• 50	0.297	250	1038	75.27%	24.73%	23.73%	SI
N• 100	0.149	169	1207	87.53%	12.47%	10.72%	NO
N• 200	0.074	106	1313	95.21%	4.79%	3.79%	NO
<N 200	0.01	66	1379	100.00%	0.00%	0.00%	

Modulo finura 2.83

Gráfico 2.13 Agregados Rocafuerte mina de Pifo



2.2.6.4. Mina de ByP Internacional, El volcán 1

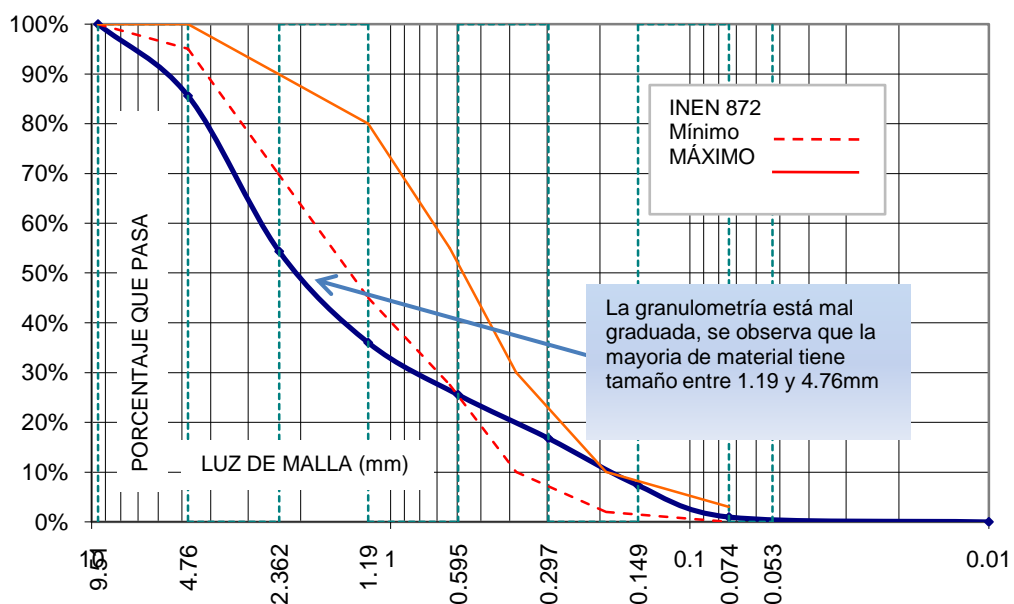
Tabla 2.11 Granulometría agregado fino mina de El volcán 1

Cantera		ByP internacional,El Volcán 1		Muestra #1	Norma	INEN 872
Malla	(mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido acumulado	%Pasa	
3/8"	9.51	0	0	0.00%	100.00%	
N• 4	4.76	232	232	11.76%	88.24%	
N• 8	2.362	594	826	41.89%	58.11%	
N• 16	1.19	382	1208	61.26%	38.74%	
N• 30	0.595	232	1440	73.02%	26.98%	
N• 50	0.297	196	1636	82.96%	17.04%	
N• 100	0.149	172	1808	91.68%	8.32%	
N• 200	0.074	140	1948	98.78%	1.22%	
<N•200	0.01	24	1972	100.00%	0.00%	

Cantera		ByP internacional,El Volcán 1		Muestra #2	Norma	INEN 872	
Malla	mm	R. Parc	R Acum	%Ret	%Pasa	% Promedio	Cumple?
3/8"	9.51	0	0	0.00%	100.00%	100.00%	SI
N• 4	4.76	316	316	17.10%	82.90%	85.57%	NO
N• 8	2.362	598	914	49.46%	50.54%	54.33%	NO
N• 16	1.19	320	1234	66.77%	33.23%	35.98%	NO
N• 30	0.595	168	1402	75.87%	24.13%	25.56%	SI
N• 50	0.297	140	1542	83.44%	16.56%	16.80%	SI
N• 100	0.149	188	1730	93.61%	6.39%	7.35%	SI
N• 200	0.074	104	1834	99.24%	0.76%	0.99%	SI
<N•200	0.01	14	1848	100.00%	0.00%	0.00%	

Modulo finura 3.74

Gráfico 2.14 Agregado fino mina de El volcán 1

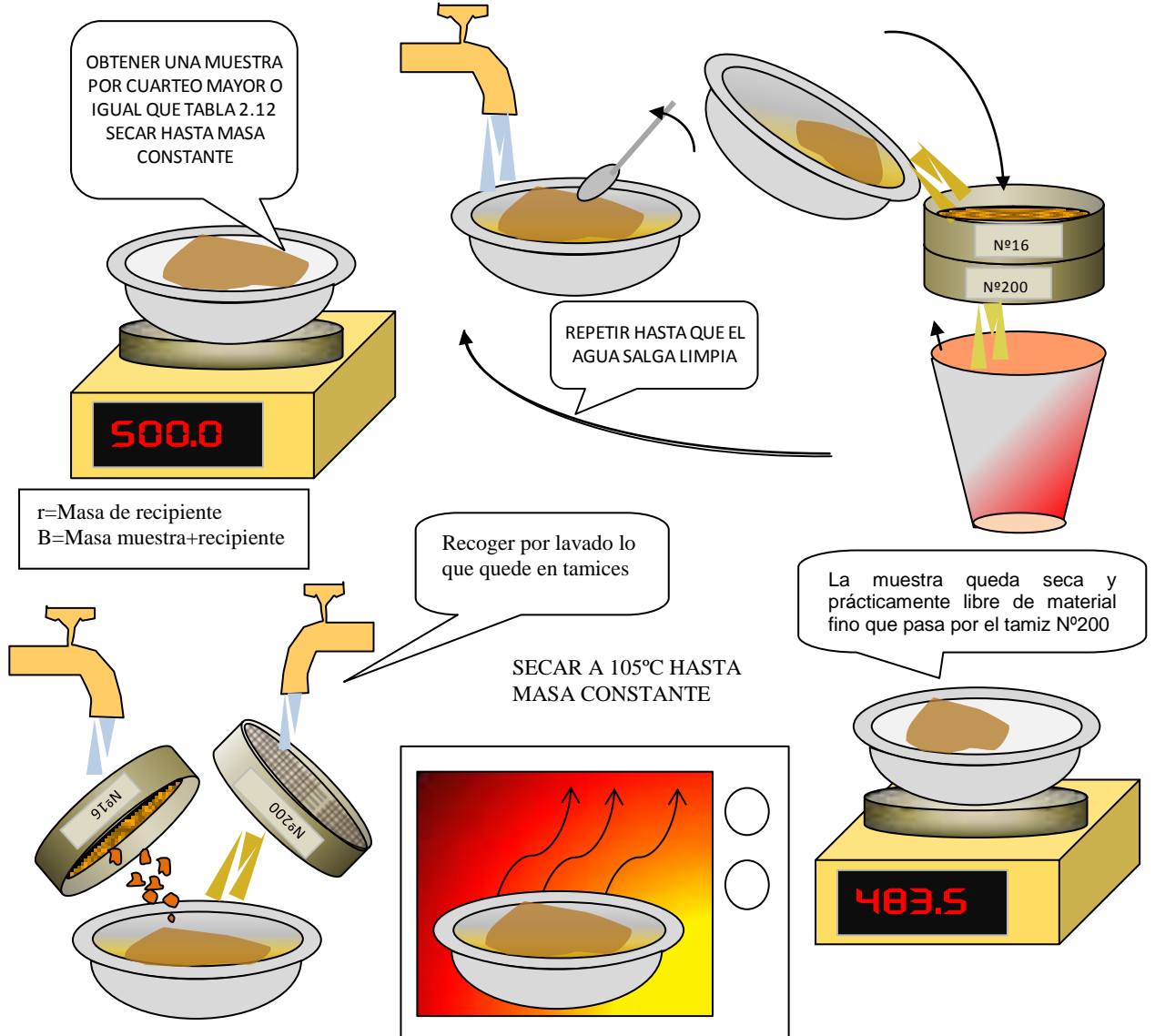


2.3. Material fino que pasa por el tamiz N°200

2.3.1 Procedimiento de ensayo

Hemos resumido el procedimiento en forma gráfica

Gráfico 2.15 procedimiento para determinar el material fino que pasa por el tamiz N°200



El contenido de MF200 será:

$$A = \frac{B - C}{B - r}$$

A, porcentaje de MF200

B, masa de muestra seca mas recipiente, antes del ensayo

C, masa de muestra seca mas recipiente, después del ensayo

r, masa del recipiente.

Tabla 2.12 Masa mínima de muestra

(Lara Carrera, 1980)

Tamaño máximo Pulgadas	nominal mm	Masa mínima (Kg)
Nº 8	2.36	0.1
Nº 4	4.75	0.5
3/8"	9.50	2.0
3/4"	19.00	2.5
1 1/2"	38.10	5.0

2.3.2 Resultados de los ensayos

En el capítulo 1 hemos recopilado los criterios con respecto al contenido de material fino que pasa por el tamiz N°200 (MF200) y a continuación mostramos los resultados de los análisis de laboratorio.

Tabla 2.13 Material fino que pasa por el tamiz N°200, mina de Cusuco

Norma		INEN		872
Cantera		Cusuco		
Masa del recipiente, g		296.4	r	
Masa recipiente mas muestra seca, g	Antes	1592.6	B	
	Después	1496.2	C	
% de material fino que pasa por el tamiz N°200		7.44%	A	
		NO CUMPLE		3%
		NO CUMPLE		5%

Tabla 2.14 Material fino que pasa por el tamiz N°200, mina de Rumicucho

Norma		INEN		872
Cantera		Rumicucho		
Masa del recipiente, g		410.42	r	
Masa recipiente mas muestra seca, g	Antes	1749.60	B	
	Después	1593.80	C	
% de material fino que pasa por el tamiz N°200		11.63%	A	
		NO CUMPLE		3%
		NO CUMPLE		5%

Tabla 2.15 Material fino que pasa por el tamiz N°200, Agregados Rocafuerte

Norma		INEN		872
Cantera		Agregados Rocafuerte, Pífo		
Masa del recipiente, g		0	r	
Masa recipiente mas muestra seca, g	Antes	500	B	
	Después	469	C	
% de material fino que pasa por el tamiz N°200		6.20%	A	
		NO CUMPLE		3%
		NO CUMPLE		5%

Tabla 2.16 Material fino que pasa por el tamiz N°200, El Volcán 1

Norma		INEN		872
Cantera		El Volcan 1		
Masa del recipiente, g		0	r	
Masa recipiente mas muestra seca, g	Antes	500	B	
	Después	461	C	
% de material fino que pasa por el tamiz N°200		7.80%	A	
		NO CUMPLE		3%
		NO CUMPLE		5%

Se observa que todos los materiales analizados tienen un contenido mayor de MF200 al permitido, por lo que procedimos a buscar fugas en el tamiz, para lo cual repasamos su efluente (recogido en un balde) por el tamiz N°100, observando que en este no se retenía nada de material, entonces descartamos que haya fugas en el tamiz N°200.

2.4.Gravedad específica y absorción

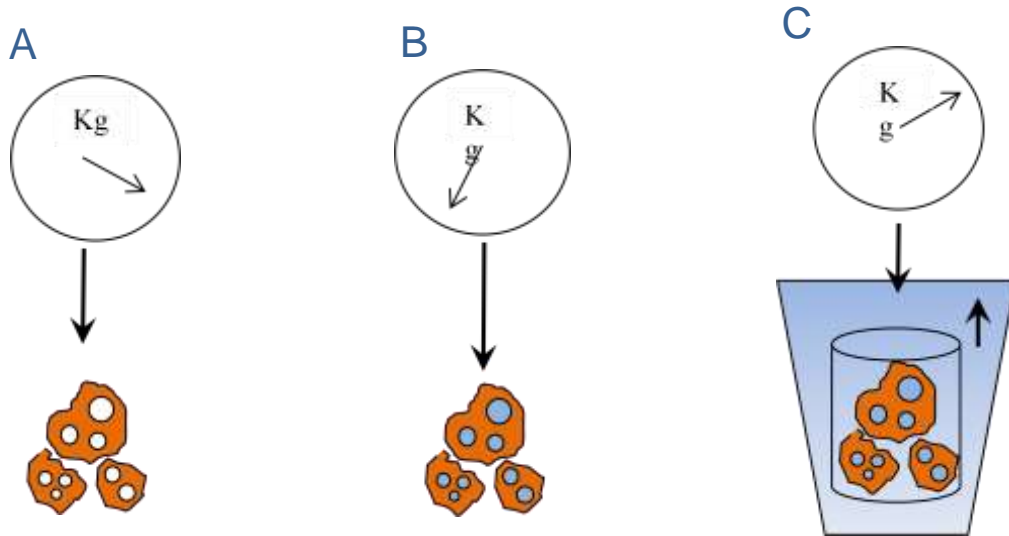
La gravedad específica Bulk de un “grano” de material es igual a su peso seco dividido por su volumen exterior. La gravedad específica aparente, en cambio, es igual a su peso seco dividido por su volumen sólido real, es decir el exterior menos sus poros interiores. La gravedad específica del material saturado con superficie seca es igual al peso de la muestra saturada por su volumen exterior.

Para realizar cálculos de dosificación de mezclas, consideramos el volumen de partículas como el total de sus volúmenes exteriores, para establecer el acomodo que tendrían entre sí los diferentes tamaños de fracciones granulométricas para lograr la mejor compacidad, y el peso necesario de cada material. Por lo tanto utilizamos la gravedad específica Bulk. Adicionalmente empleamos el peso unitario del material, que lo veremos más adelante.

2.4.1 Procedimiento

Para la determinación de las gravedades específicas y la absorción del agregado grueso, empleamos una balanza analítica (peso en el aire y sumergido). A continuación representamos un esquema del proceso.

Grafico 2.15 Procedimiento para determinar la gravedad específica



MASA DE LA MUESTRA SECA

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA

Ge= Gravedad específica Bulk. (Peso específico de partículas)

Ges= Gravedad específica saturada con superficie seca.

Gea= Gravedad específica aparente.

Ab= Porcentaje de absorción.

2.4.2 Gravedad específica y absorción del agregado grueso, resultados

A continuación resumimos los resultados de los ensayos realizados para la determinación de la gravedad específica.

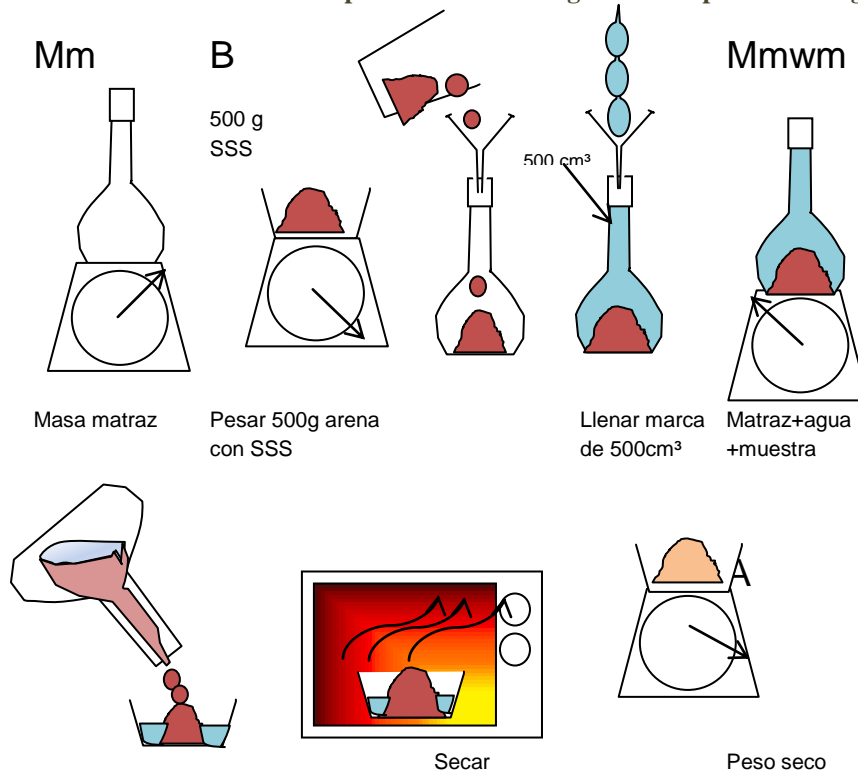
Tabla 2.17 Gravedad específica y absorción del agregado grueso

	PROCEDENCIA	CUSUCO	RUMICUCHO	PIFO	EL VOLCÁN 1	
A	MASA SECA	5188	3784	4268	4440	g
B	MASA SATURADA SUP. SECA	5360	3944	4386	4586	g
C	MASA SUMERGIDA	3234	2384	2574	2694	g
Ge	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	2.440	2.426	2.355	2.347	g/cm ³
Ges	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS	2.521	2.528	2.421	2.424	g/cm ³
Ga	GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	2.655	2.703	2.519	2.543	g/cm ³
Ab	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	3.32%	4.23%	2.76%	3.29%	%

2.4.3 Gravedad específica y absorción del agregado fino, procedimiento

Ilustramos el procedimiento para determinar la gravedad específica y absorción del agregado fino. No hemos incluido en este esquema la preparación de la muestra que consiste en conseguir la saturación con superficie seca. Los conceptos de gravedad específica son idénticos a los que aplican para el agregado grueso.

Gráfico 2.16 Procedimiento para determinar la gravedad específica del agregado fino



$$Ma = Mmwm - Mm - B$$

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma}$$

$$Gea = \frac{A}{500 + Mm - Mmwm + A}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

- Mm= Masa del matraz
- B= Masa de la muestra saturada con superficie seca
- Mmwm= Masa del conjunto matraz, agua y muestra
- A= Masa de la muestra seca
- Ma= Masa de agua añadida al matraz
- Ge= Gravedad específica Bulk

Ges= Gravedad específica saturada con superficie seca
 Gea= Gravedad específica aparente
 Ab= Porcentaje de absorción

2.4.4 Gravedad específica y absorción del agregado fino, resultados

En la siguiente tabla hemos resumido los resultados de los ensayos realizados para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino.

Tabla 2.18 Gravedad específica y absorción del agregado fino

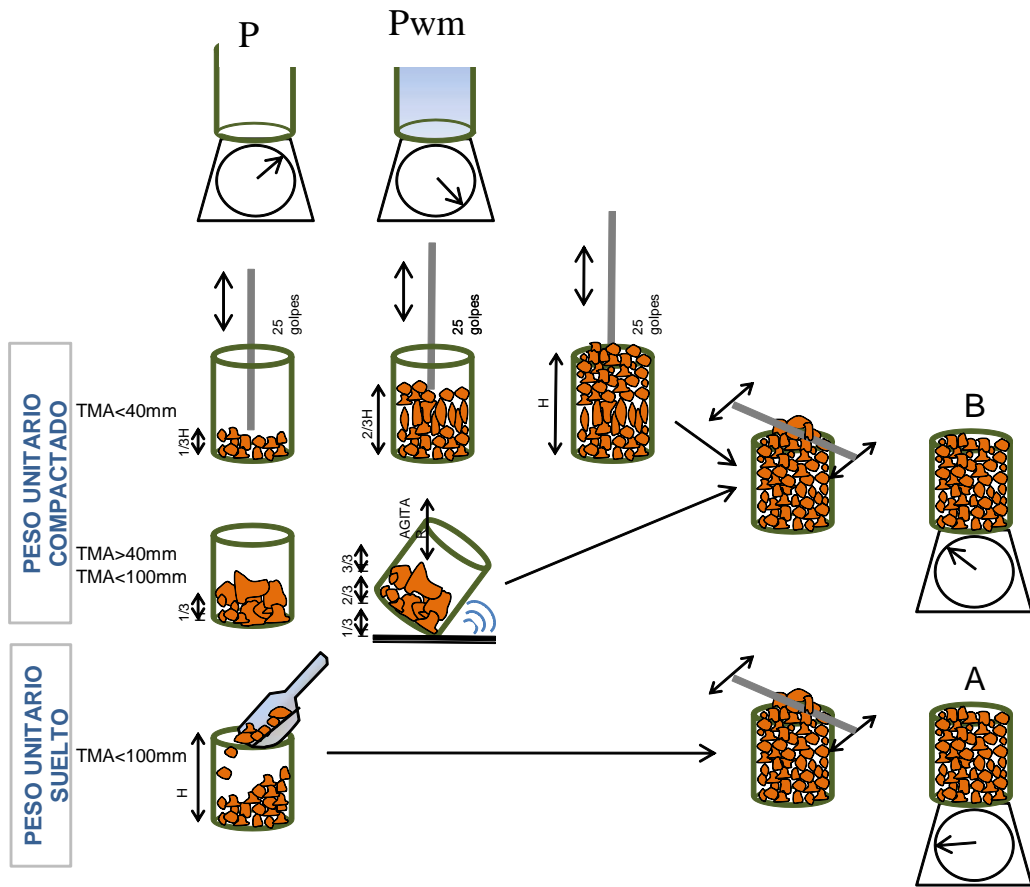
	PROCEDENCIA	CUSUCO	RUMICUCHO	ROCAFUERTE	EL VOLCÁN 1	
Mm	MASA DEL MATRAZ	159.55	159.30	159.39	159.64	g
Mmwm	MASA MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	958.32	955.86	953.60	951.30	g
B	MASA SATURADA SUP. SECA	500.00	500.00	500.00	500.00	g
A	MASA SECA	476.38	470.27	477.56	481.40	g
Ma	MASA AGUA AÑADIDA A MATRAZ	298.77	296.56	294.21	291.66	g
Ge	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	2.367	2.312	2.321	2.311	g/cm ³
Ges	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS GRAVEDAD ESPECÍFICA	2.485	2.458	2.430	2.400	g/cm ³
Gea	APARENTE	2.682	2.707	2.605	2.537	g/cm ³
Ab	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	4.96%	6.32%	4.70%	3.86%	%

2.5. Peso unitario

De acuerdo a las normas ASTM C-29 e INEN NTE 858 se establecen los procedimientos para determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados. “La energía de compactación para un volumen de agregado, dentro de un molde cilíndrico de 6” de diámetro y 12” de altura, será la generada por apisonado con varilla de ½” de diámetro y 24” de longitud, para completar su volumen con 3 capas de material a 25 golpes por capa. Se debe tener especial cuidado en corregir el volumen del molde de acuerdo a la densidad del agua, afectada esta por la temperatura. Es el peso seco del material, el que se emplea en el peso unitario.” (Lara Carrera, 1980)

En el siguiente gráfico hemos resumido el procedimiento, tanto para material suelto o compacto como para TMA menor que 40mm, o entre 40 y 100mm; y es válido también para agregado fino.

Gráfico 2.17 Procedimiento para el peso unitario del agregado grueso



$$M_s = A - P$$

$$V = \frac{P_{wm} - P}{\delta}$$

$$P_{us} = \frac{M_s}{V}$$

$$M_c = B - P$$

$$P_{uc} = \frac{M_c}{V}$$

- P= Masa de molde
- Pwm= Masa molde+agua
- d= Densidad del agua
- V= Volúmen del molde
- A= Masa molde+material suelto
- B= Masa molde+material compacto
- Ms= Masa material suelto
- Mc= Masa material compacto
- Pus= Peso unitario suelto
- Puc= Peso unitario compacto

2.5.1 Peso unitario del agregado grueso. Resultados

Para la determinación del peso unitario, suelto y compacto de los agregados, usamos el mismo molde en la misma sesión y realizamos el procedimiento 3 veces para cada material.

Tabla 2.19 Peso unitario del agregado grueso

	PROCEDENCIA	CUSUCO	RUMICUCHO	PIFO	EL VOLCÁN 1	
P	MASA DE MOLDE	8494	8494	8494	8494	g
P _{wm}	MASA DE MOLDE+AGUA	12620	12620	12620	12620	g
d	DENSIDAD DEL AGUA	0.99797	0.99797	0.99797	0.99797	g/cm ³
V	VOLUMEN DEL MOLDE	4134.39	4134.39	4134.39	4134.39	cm ³
A	MASA MOLDE+MATERIAL SUELTO					
	MUESTRA N°1	14306	14328	13380	13222	g
	MUESTRA N°2	14298	14260	13406	13188	g
	MUESTRA N°3	14324	14228	13398	13244	g
B	MASA MOLDE+MATERIAL COMPACTO					
	MUESTRA N°1	14738	15034	14000	13956	g
	MUESTRA N°2	14694	14846	14036	14046	g
	MUESTRA N°3	14820	14864	14058	14080	g
M _s	MASA MATERIAL SUELTO	5815.3	5778.0	4900.7	4724.0	g
M _c	MASA MATERIAL COMPACTO	6256.7	6420.7	5537.3	5533.3	g
P _{us}	PESO UNITARIO SUELTO	1.407	1.398	1.185	1.143	g/cm ³
P _{uc}	PESO UNITARIO COMPACTO	1.513	1.553	1.339	1.338	g/cm ³

2.5.2 Peso unitario del agregado fino. Resultados

Empleamos la misma metodología que para el ensayo en el agregado grueso, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 2.20 Peso unitario del agregado fino

	PROCEDENCIA	CUSUCO	RUMICUCHO	PIFO	EL VOLCÁN 1	
P	MASA DE MOLDE	8494	8494	8494	8494	g
P _{wm}	MASA DE MOLDE+AGUA	12620	12620	12620	12620	g
d	DENSIDAD DEL AGUA	0.99797	0.99797	0.99797	0.99797	g/cm ³
V	VOLUMEN DEL MOLDE	4134.39	4134.39	4134.39	4134.39	cm ³
A	MASA MOLDE+MATERIAL SUELTO					
	MUESTRA N°1	15162	15290	14552	14070	g
	MUESTRA N°2	15138	15246	14484	14068	g
	MUESTRA N°3	15186	15312	14562	14136	g
B	MASA MOLDE+MATERIAL COMPACTO					
	MUESTRA N°1	15730	16010	15158	14958	g
	MUESTRA N°2	15834	16158	15318	14830	g
	MUESTRA N°3	15812	16180	15278	14944	g
M _s	MASA MATERIAL SUELTO	6668.0	6788.7	6038.7	5597.3	g
M _c	MASA MATERIAL COMPACTO	7298.0	7622.0	6757.3	6416.7	g
P _{us}	PESO UNITARIO SUELTO	1.613	1.642	1.461	1.354	g/cm ³
P _{uc}	PESO UNITARIO COMPACTO	1.765	1.844	1.634	1.552	g/cm ³

2.5.3 Porcentaje de vacíos en los agregados.

Para una mezcla de hormigón, el porcentaje de vacíos en el agregado grueso nos permite tener una idea del volumen compacto de material que falta para lograr una masa sólida, de manera ideal, este volumen estaría ocupado por la arena, y a su vez, el volumen de vacíos de la arena sería ocupado por la pasta cementicia y el aire atrapado.

Se lo puede determinar con los resultados de los ensayos de gravedad específica y peso unitario, mediante la siguiente expresión:

$$V\% = \frac{Ge * \delta - Puc}{Ge * \delta} * 100$$

En donde: V%= Porcentaje de vacíos en el agregado.

Ge= Gravedad específica del agregado.

δ = Densidad del agua a 16.7°C

Puc=Peso unitario compacto.

Los resultados obtenidos se ilustran en la siguiente tabla

Tabla 2.21 Porcentaje de vacíos en los agregados grueso y fino

	PROCEDENCIA	CUSUCO	RUMICUCHO	PIFO	EL VOLCÁN 1	
AGREGADO GRUESO						
Ge	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	2.440	2.426	2.355	2.347	
Puc	PESO UNITARIO COMPACTO	1.513	1.553	1.339	1.338	g/cm ³
d	DENSIDAD DEL AGUA	0.99882	0.99882	0.99882	0.99882	g/cm ³
V	% DE VOLUMEN DE VACÍOS	37.91%	35.90%	43.07%	42.90%	%
AGREGADO FINO						
Ge	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	2.367	2.312	2.321	2.311	
Puc	PESO UNITARIO COMPACTO	1.765	1.844	1.634	1.552	g/cm ³
d	DENSIDAD DEL AGUA	0.99882	0.99882	0.99882	0.99882	g/cm ³
V	% DE VOLUMEN DE VACÍOS	25.35%	20.15%	29.49%	32.75%	%

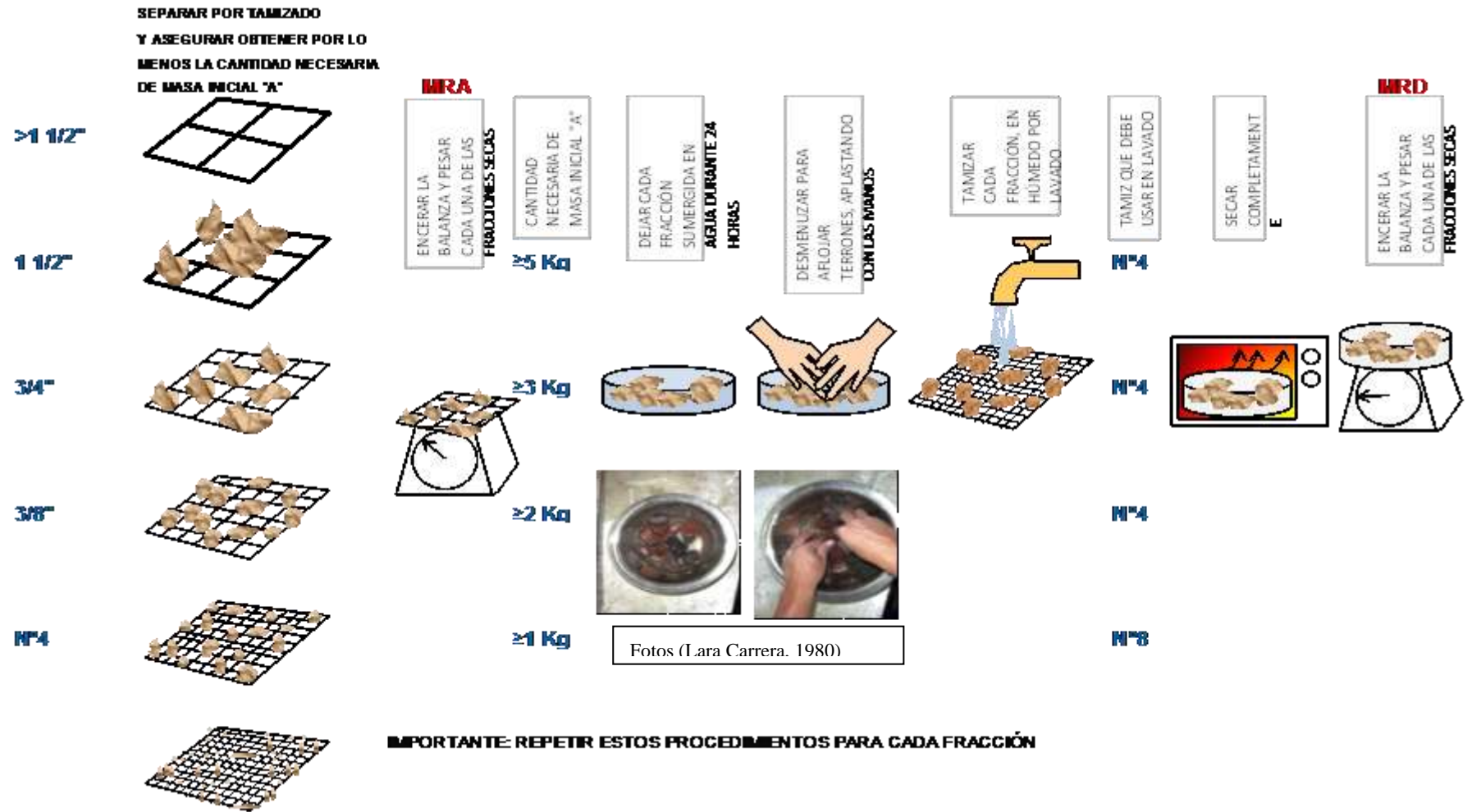
2.6. Contenido de terrones de arcilla

Los terrones de arcilla en los agregados, constituyen un material perjudicial para la elaboración de hormigones, como hemos visto anteriormente, su contenido según MTOP f0019012.02.2 no debe sobrepasar el 1%. La arcilla es un material que puede aglutinarse formando masas compactas, aunque muy débiles.

El procedimiento de laboratorio está normado en AASHTO T-112, siendo necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

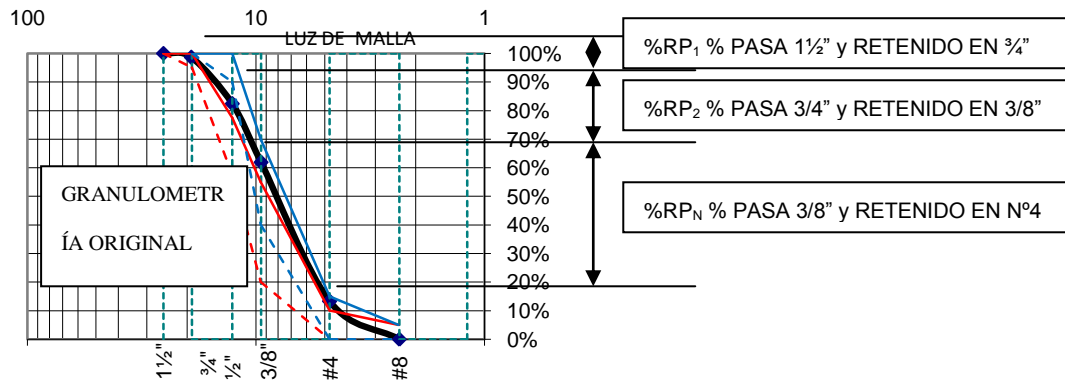
- Para el agregado grueso se determina el contenido de terrones de arcilla por separado para cada fracción de material retenido parcial en los tamices $\geq 1\frac{1}{2}$ ", $1\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N°4.
- Se requiere disponer de la información de la granulometría original del material, para poder ponderar el aporte de cada resultado de las fracciones en el contenido total. Aunque en el proceso para separar las muestras se tamiza, las cantidades requeridas de muestra mínima para las fracciones más gruesas, son mucho mayores que las requeridas para la granulometría.
- Con la información de granulometría del agregado grueso, restamos de la tabla, o del gráfico los porcentajes que pasan menos los porcentajes retenidos para cada uno de los rangos indicados en la página anterior, sin embargo, si la serie de tamices empleados en la granulometría coincide con estos rangos, podemos copiar directamente los porcentajes retenidos parciales %RP.

Gráfico 2.18 Determinación del contenido de terrones de arcilla en el agregado grueso



Los cálculos serían los siguientes:

Gráfico 2.19 Rangos de material que pasa %RPi



$$\% \text{Arcilla}_i = \frac{MRA - MRD}{MRA} * 100$$

$$\% \text{Aporte}_i = \frac{\% RP_i * \% \text{Arcilla}_i}{100}$$

$$\% \text{RealTotal} = \frac{\sum_{i=1}^n \% \text{Aporte}_i}{\sum_{i=1}^n RP_i}$$

En donde: MRA= Masa en c/u de las fracciones secas antes del ensayo

MRD= Masa en c/u de las fracciones secas despues del ensayo

%Arcilla_i= Porcentaje de arcilla para cada fracción

%RP_i= Porcentajes retenidos parciales de la granulometría

%Aporte_i= % Ponderado de aporte al contenido total

%RealTotal= % real de terrones de arcilla en el agregado

Para el agregado fino solo consideramos una fracción, y el tamiz de lavado será el N° 20 (0.84 mm).

2.6.1 Resultados para el agregado grueso

En la siguiente tabla resumimos los resultados obtenidos

Tabla 2.22 Terrones de arcilla en el agregado grueso

PROCE DENCIA		CUSUCO						
TAMAÑO PASA	FRACCION RETIENE	% RETENIDO GRANULO-METRÍA	MASA MÍNIMA MUESTRA	MASA INICIAL	TAMIZ DE LAVADO	MASA RETENIDA DESPUES ENSAYO	PORCENTAJE DE ARCILLA	PORCENTAJE DE APORTE
mm	mm	%RP _i	g	MRA, g	mm	MRD, g	%	%
38.1	19.1	19.90%	3000	2850	4.76	2780	2.46%	0.49%
19.1	9.52	59.97%	2000	2130	4.76	2120	0.47%	0.28%
9.52	4.76	18.06%	1000	1270	2.38	1210	4.72%	0.85%
							0.00%	0.00%
							0.00%	0.00%
TOTAL		97.92%	6000	6250		6110		1.66%
(%RIPIO /TOTAL)							NO CUMPLE	
PROCE DENCIA		RUMI CUCHO						
TAMAÑO PASA	FRACCION RETIENE	% RETENIDO GRANULO-METRÍA	MASA MÍNIMA MUESTRA	MASA INICIAL	TAMIZ DE LAVADO	MASA RETENIDA DESPUES ENSAYO	PORCENTAJE DE ARCILLA	PORCENTAJE DE APORTE
mm	mm	%RP _i	g	MRA, g	mm	MRD, g	%	%
50.8	38.1	0.48%	5000	4210	4.76	4200	0.24%	0.00%
38.1	19.1	26.58%	3000	3450	4.76	3300	4.35%	1.16%
19.1	9.52	36.53%	2000	2320	4.76	2310	0.43%	0.16%
9.52	4.76	22.93%	1000	1340	2.38	1270	5.22%	1.20%
							0.00%	0.00%
TOTAL		86.53%	11000	11320		11080		2.90%
(%RIPIO /TOTAL)							NO CUMPLE	
PROCE DENCIA		ROCA FUERTE						
TAMAÑO PASA	FRACCION RETIENE	% RETENIDO GRANULO-METRÍA	MASA MÍNIMA MUESTRA	MASA INICIAL	TAMIZ DE LAVADO	MASA RETENIDA DESPUES ENSAYO	PORCENTAJE DE ARCILLA	PORCENTAJE DE APORTE
mm	mm	%RP _i	g	MRA, g	mm	MRD, g	%	%
25.4	19.1	1.39%	3000	3380	4.76	3340	1.18%	0.02%
19.1	9.52	36.75%	2000	2240	4.76	2230	0.45%	0.16%
9.52	4.76	48.61%	1000	980	2.38	970	1.02%	0.50%
							0.00%	0.00%
							0.00%	0.00%
TOTAL		86.75%	6000	6600		6540		0.78%
(%RIPIO /TOTAL)							SI CUMPLE	
PROCE DENCIA		EL VOL CAN 1						
TAMAÑO PASA	FRACCION RETIENE	% RETENIDO GRANULO-METRÍA	MASA MÍNIMA MUESTRA	MASA INICIAL	TAMIZ DE LAVADO	MASA RETENIDA DESPUES ENSAYO	PORCENTAJE DE ARCILLA	PORCENTAJE DE APORTE
mm	mm	%RP _i	g	MRA, g	mm	MRD, g	%	%
38.1	19.1	15.50%	3000	3540	4.76	3520	0.56%	0.09%
19.1	9.52	65.77%	2000	1980	4.76	1970	0.51%	0.33%
9.52	4.76	16.54%	1000	1310	2.38	1270	3.05%	0.50%
							0.00%	0.00%
							0.00%	0.00%
TOTAL		97.81%	6000	6830		6760		0.95%
(%RIPIO /TOTAL)							SI CUMPLE	

2.7. Durabilidad del agregado grueso y fino al ataque de sulfatos

“La durabilidad al ataque de los sulfatos se mide por el grado de desintegración del agregado, es decir su pérdida de masa, en solución de sulfato de sodio o de magnesio. Esto nos da un índice de su resistencia a medios agresivos.” (Lara, 2001)

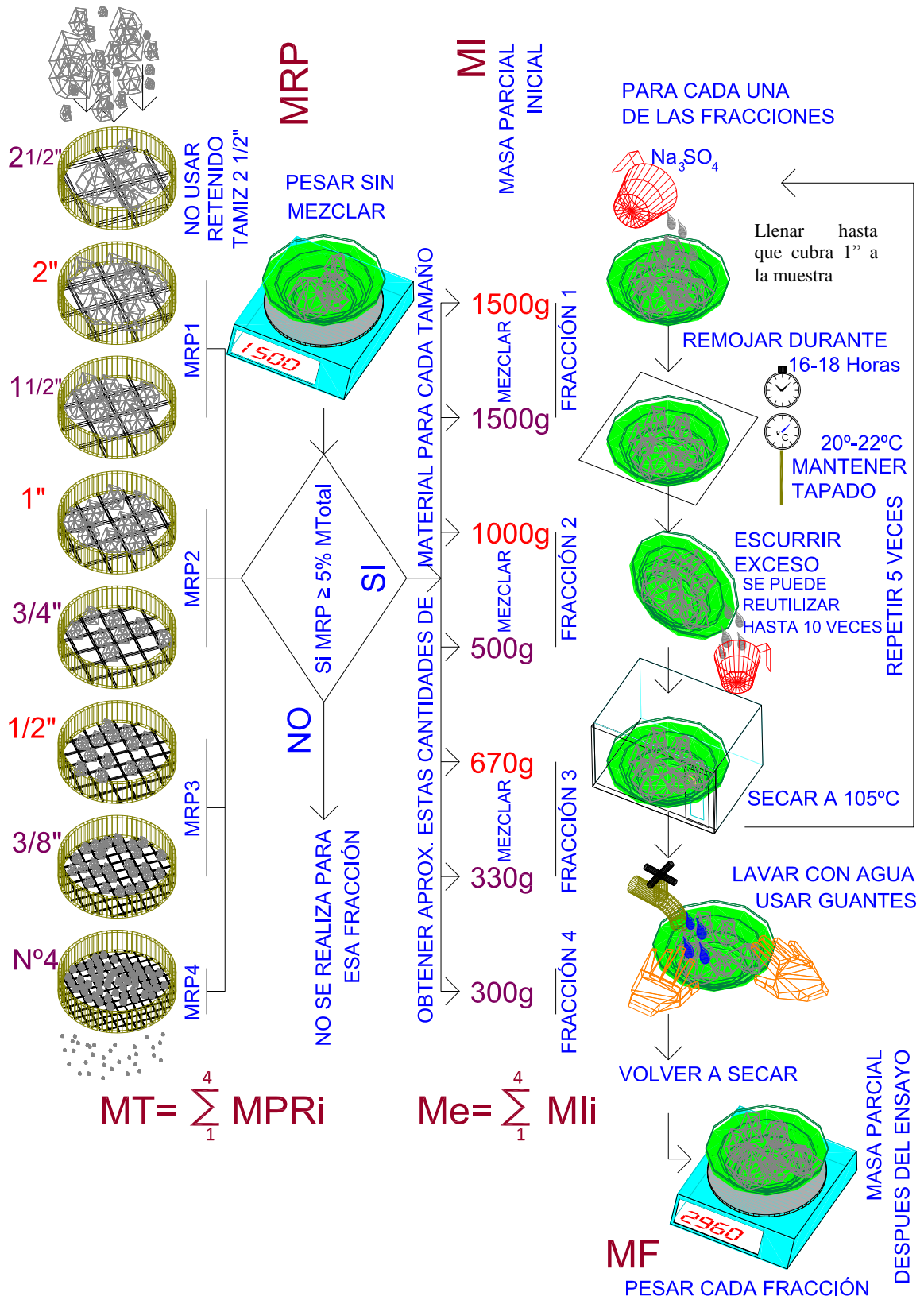
El procedimiento implica:

- Preparación de solución saturada de sulfato de sodio o magnesio.
- Preparación de la muestra por fraccionamiento granulométrico y conocer o determinar su distribución granulométrica.
- Realizar 5 ciclos de inmersión por 16 horas y secado.
- Pesar las fracciones y calcular el desgaste ponderado.

“Para la preparación de la solución se disuelve 350 gramos de sulfato de sodio o magnesio por litro agua, se debe controlar que la temperatura este entre 20 y 22°C y mantenerla saturándose durante 48 horas, es normal que sedimente cristales en el fondo. Se puede reutilizar la solución hasta 10 veces.” (Lara, 2001)

En la siguiente página resumimos en forma gráfica el procedimiento de ensayo para material grueso, nótese que se deben obtener las cantidades de 1500, 1500, 1000, 500, 670, 330 y 300 gramos de muestra para los tamaños que se retienen en los tamices de 2”, 1½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8” y N°4 respectivamente y que pasan por el tamiz inmediatamente superior. Se mezclan en pares los gránulos de 2” y 1½”; el de 1” y ¾”; el de ½” y 3/8”; y el de N°4 se mantiene. “Si alguna de estas mezclas pesa menos del 5% de la masa total retenida no se realiza el ensayo con esta y se asume a su porcentaje de desgaste como el más desfavorable (mayor) entre el de la fracción de tamaño mayor y menor inmediatas.” (Lara, 2001)

Gráfico 2.20 Desgaste de los agregados a la acción de los sulfatos



Para la arena se sigue el mismo procedimiento, tomando 100 gramos para cada uno de los tamaños N°4, N°8, N°16, N°30 y N°50, con el único cuidado de evitar pérdidas de material al escurrir la solución en cada ciclo, usando un tamiz más fino.

2.7.1 Resultados de los ensayos

Tabla 2.23 Desgaste del agregado grueso por acción del sulfato de sodio

Procedencia		CUSUCO			RIPIO AZUL			
Recipiente	Tamiz N° Pasa	Retiene	% entre tamices en la granulomet.	%Retenido parcial del agregado	Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% Que pasa el tamiz+fino después del ensayo	Porcentaje de desgaste parcial
36	1½"	1"	4.71%	20.32%	1006	1414	5.73%	1.16%
	1"	¾"	15.19%		494			
35	¾"	½"	37.16%	61.24%	670	960	4.00%	2.45%
	½"	⅜"	22.81%		330			
3	⅜"	#4	18.06%	18.44%	300	296	1.33%	0.25%
			97.92%	100.00%				3.86%

Procedencia		Rumicucho			RIPIO ROJO			
Recipiente	Tamiz N° Pasa	Retiene	% entre tamices en la granulomet.	%Retenido parcial del agregado	Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% Que pasa el tamiz+fino después del ensayo	Porcentaje de desgaste parcial
A7	1½"	1"	9.23%	30.90%	2010	2978	0.73%	0.23%
	1"	¾"	17.35%		990			
CA1	¾"	½"	22.60%	42.46%	1340	1990	0.50%	0.21%
	½"	⅜"	13.93%		660			
A8	⅜"	#4	22.93%	26.65%	600	580	3.33%	0.89%
			86.05%	100.00%				1.33%

Procedencia		Agregados Rocafuerte.			Pifo	RIPIO #67, especificación 19.1- 4.76		
Recipiente	Tamiz N° Pasa	Retiene	% entre tamices en la granulomet.	%Retenido parcial del agregado	Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% Que pasa el tamiz+fino después del ensayo	Porcentaje de desgaste parcial
CA1	¾"	½"	16.25%	43.06%	1340	1920	4.00%	1.72%
	½"	⅜"	20.50%		660			
5	⅜"	#4	48.61%	56.94%	600	582.13	2.98%	1.70%
			85.36%	100.00%				3.42%

Procedencia		ByP. Mina El Volcán 1			RIPIO ROJO			
Recipiente	Tamiz N° Pasa	Retiene	% entre tamices en la granulomet.	%Retenido parcial del agregado	Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% Que pasa el tamiz+fino después del ensayo	Porcentaje de desgaste parcial
25	1"	¾"	15.50%	15.85%	2000	1745.7	12.72%	2.02%
100	¾"	½"	47.80%	67.24%	1340	1980.9	0.95%	0.64%
	½"	⅜"	17.97%		660			
C3	⅜"	#4	16.54%	16.91%	600	592.92	1.18%	0.20%
			97.81%	100.00%				2.86%

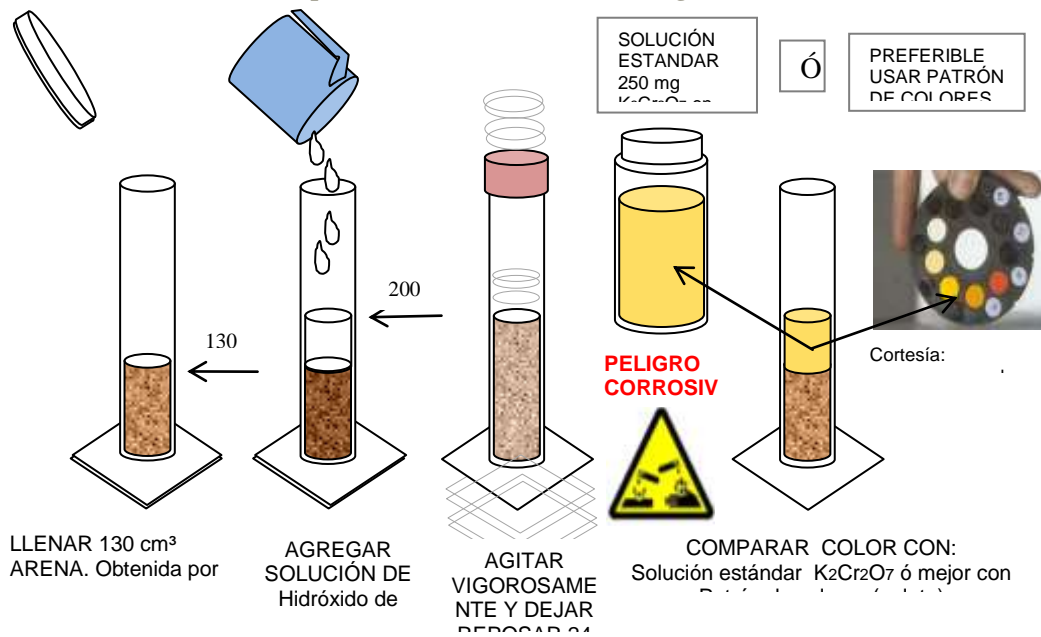
2.8. Contenido orgánico del agregado fino.

“Si la arena tiene alto contenido orgánico puede perjudicar la reacción de fraguado del cemento, y por tanto la resistencia a compresión y durabilidad del hormigón. Se debe chequear que este contenido sea menor a 500 ppm, para lo cual en el ensayo se determina el color que toma una solución de hidróxido de sodio que satura la arena.

El procedimiento es el siguiente:

- Si no se dispone de una tabla de colores estándar, se debe preparar una solución estándar, la cual adquiere el color exacto de comparación.
- La solución estándar se prepara añadiendo 0.25 gramos de dicromato de potasio a 100 gramos de ácido sulfúrico concentrado.
- Es preferible, poseer la tabla de colores, a tener que preparar la solución estándar, ya que esta además de ser muy peligrosa, mantiene su color estable solo por un máximo de 2 horas.
- En una probeta de 500 cm³, se llena arena obtenida por cuarteo hasta la marca de 130 cm³, se agrega la solución de hidróxido de sodio hasta la marca de 200 cm³, se agita vigorosamente y se deja reposar por 24 horas.
- Se compara el color del líquido con el de la tabla de colores (o el de la solución estándar).
- Si el color es más oscuro que el N°3 en la tabla de colores (o que el de la solución estándar), la arena tiene más de 500 ppm de contenido orgánico y se requieren otro tipo de ensayos para su aplicabilidad como agregado. “(Lara, 2001).

Gráfico 2.21 Procedimiento para determinar el contenido orgánico de la arena



2.8.1 Resultados de los ensayos

En la siguiente tabla resumimos los resultados obtenidos

Tabla 2.24 Contenido orgánico de la arena

Mina	Material	Figura	Cumple?
Rumicucho	Arena Roja	1	SI
Cusuco	Arena azul	0	SI
Rocafuerte	Arena Roja	1	SI
Rocafuerte	Arena negra	3	Req. + ensayos
Volcán 1	Arena Roja	1	SI

2.9. Ensayo de abrasión del agregado grueso.

La resistencia del hormigón, tanto a tracción como compresión, está relacionada a la capacidad del agregado grueso a resistir desgaste mecánico por abrasión; de esta manera las normas nos permiten conocer su aceptabilidad en la elaboración de hormigones para un determinado límite de resistencia. En un hormigón bien proporcionado, los gránulos de agregado grueso estarán en contacto entre sí y la resistencia dependerá de la resistencia del agregado (además de otros factores).

Gráfico 2.24 Preparación de la muestra para el ensayo de abrasión

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

ESCOGER GRADACIÓN A, B, C ó D QUE MÁS SE PAREZCA A LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA OBTENER ESTAS CANTIDADES DE MATERIAL PARA CADA TAMAÑO

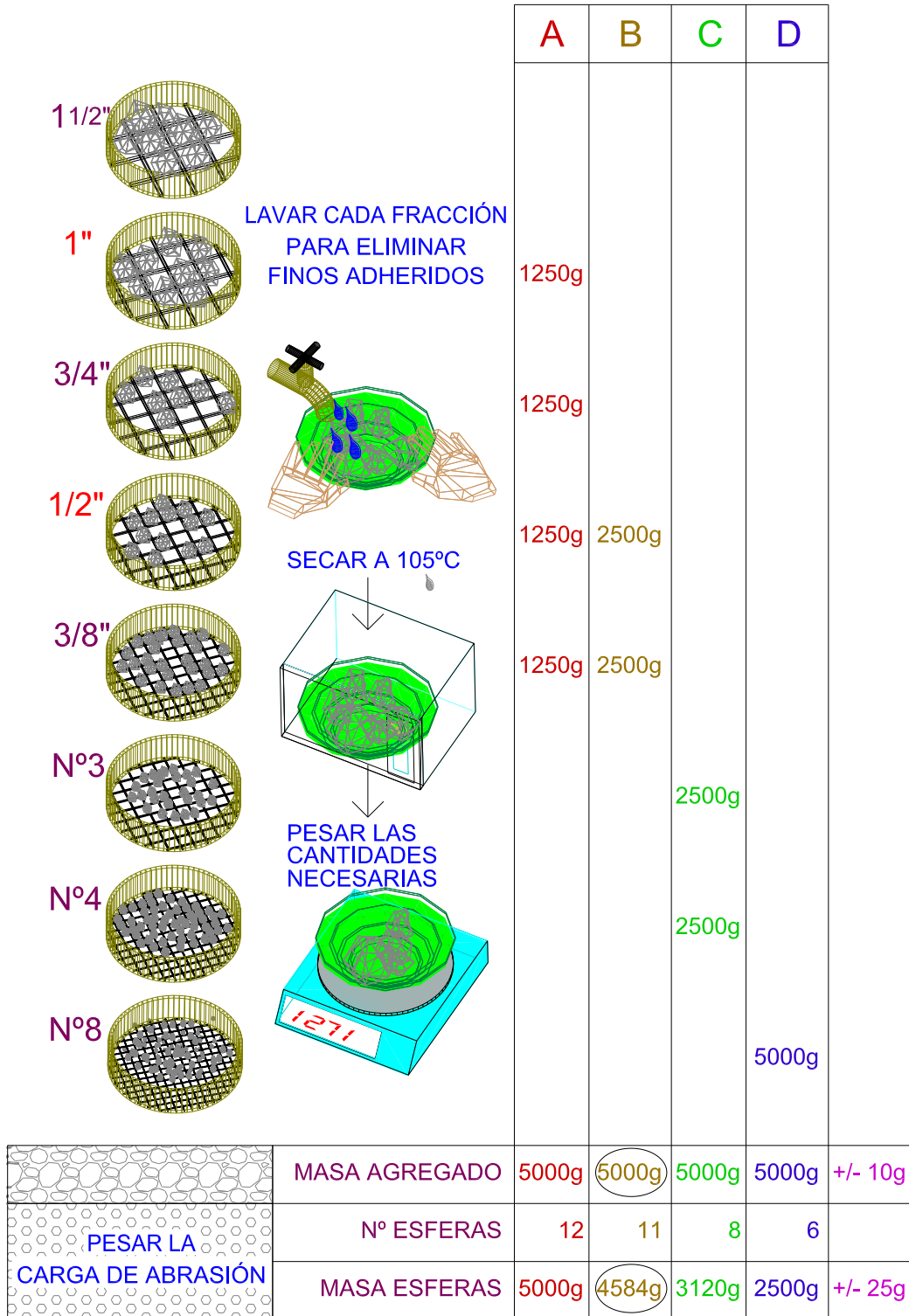
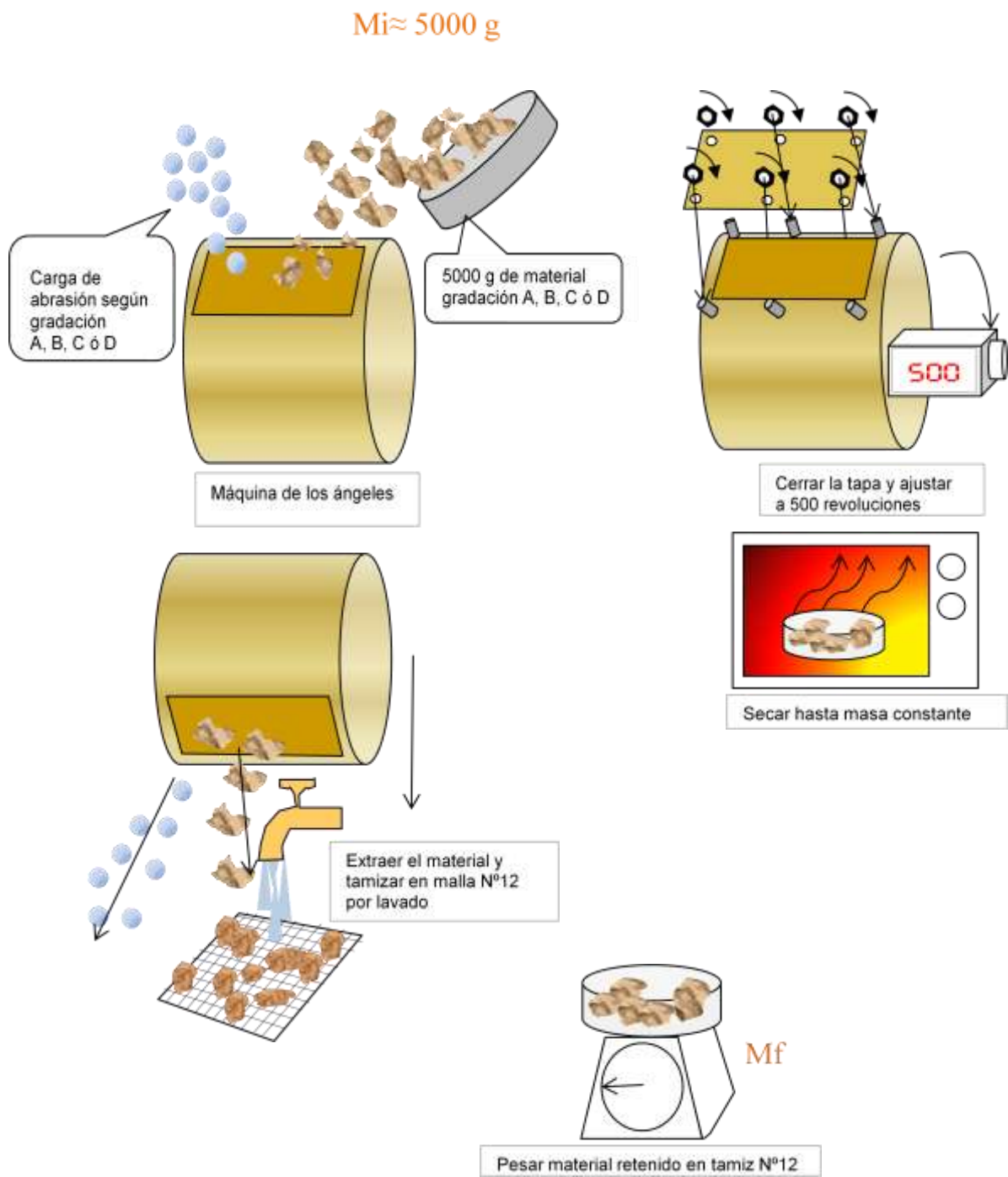


Gráfico 2.25 Procedimiento para el ensayo de Abrasión



$$\% \text{ Abrasión} = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100$$

2.9.1 Resultados de los ensayos

En la siguiente tabla resumimos los resultados obtenidos

Tabla 2.25 Resultados del ensayo de abrasión

Mina	Fecha ensayo	Gradación	Nº Esferas	Peso esferas	Masa Std.	Mi	Mf	pasa#12	%abrasión
						Masa Final	Ret #12		
Rumicucho	May-23	A	12	5410	5000	4976	2194	2782	55.91%
Cusuco	May-23	B	11	4780	5000	4928	2214	2714	55.07%
Rocafuerte	Jun-09	C	8	3358	5000	5012	3718	1294	25.82%
Volcán 1	Jun-09	B	11	4770	5000	4980	3676	1304	26.18%

Observaciones:

*La carga de abrasión no es totalmente esférica por lo que los resultados arrojan valores ligeramente mayores de desgaste que los probables

La norma ASTM C131 establece un máximo de 40% de desgaste a 500 revoluciones, y la norma INEN NTE 871 un máximo de 50%, se observa que los materiales de San Antonio (Rumicucho y Cusuco) no cumplen ambas normas.

2.10. Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena nos permite conocer el porcentaje de arena de gradación aceptable con respecto al volumen de una muestra de arena más el volumen de una suspensión de material fino. Las partículas de arena generalmente contienen arcilla y polvo que perjudican la adherencia en hormigones de cemento Portland y asfálticos. Este ensayo consiste en la separación por floculación del contenido fino, mediante el empleo de cloruro de calcio que genera una suspensión más liviana que la arena, la cual sedimenta; y esto nos permite determinar visualmente el nivel de arena y suspensión material fino.

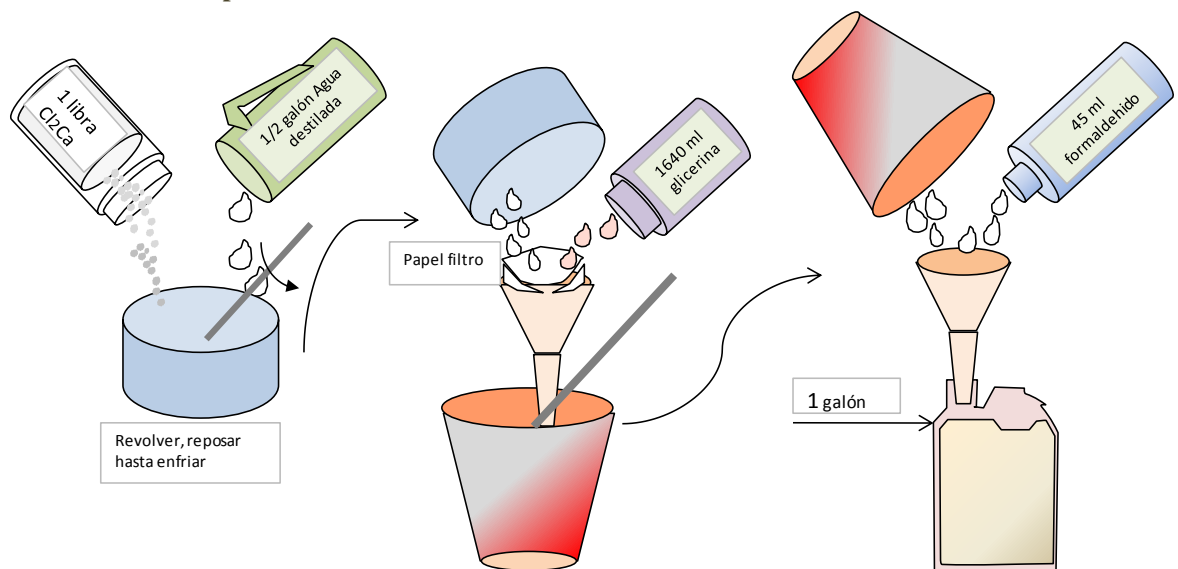
Presenta cierta analogía con la determinación del material fino que pasa por el tamiz N°200, sin embargo los resultados no son del todo comparables.

El procedimiento implica la preparación de la solución concentrada para floculación, preparación de la muestra y el ensayo como tal.

2.10.1 Preparación de la solución concentrada

- “En un recipiente de 3 litros o más, se disuelve una libra de cloruro de calcio en medio galón (1892 ml) de agua destilada, se revuelve y se espera a que se enfríe.
- Esta solución se filtra mientras se vierte a un recipiente de mayor capacidad (por ejemplo 6 litros).
- Se agrega 1640 ml (2050 g) de glicerina líquida y se agita por un minuto.
- Nuevamente se trasvasa a un recipiente de un galón de capacidad, y se añade 45 ml (47 g) de solución de formaldehído al 40% en volumen. Se agita vigorosamente, y esta va a ser la solución concentrada que alcanzará para decenas de ensayos.” (Lara Carrera, 1980)

Gráfico 2.26 Preparación de la solución concentrada



2.10.2 Preparación de la muestra

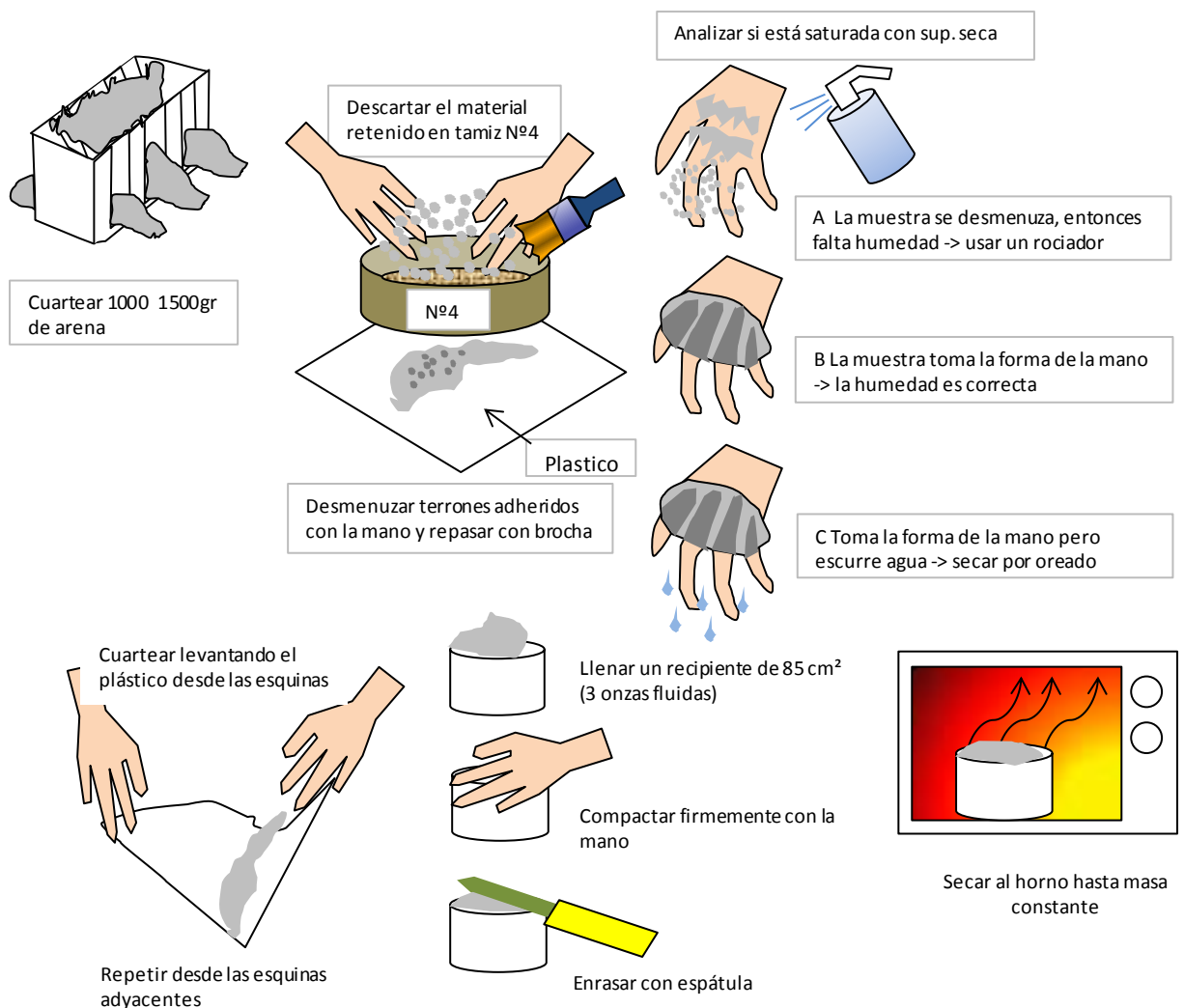
“Debido a que el ensayo se realiza con una cantidad pequeña de arena, esta deberá ser preparada con mucho cuidado para que sea representativa del material.

- Se tomará una cantidad adecuada (más de 1 Kg) de arena, obtenida por cuarteo de la muestra original.

- A esta se la extiende y se deja secar la humedad excesiva, por 30 minutos típicamente, si está muy húmeda más tiempo.
- Se tamiza por la malla N°4, desmenuzando el material adherido a los gránulos más grandes. Se desecha el material retenido en N°4.
- Se vuelve a cuartear hasta obtener 500 gramos aproximadamente; hay que conservar este material por si se requiere hacer más pruebas.
- Se deposita 85 ml en un envase de este tamaño y se enrasa.
- Se seca hasta humedad constante. La muestra está lista para el ensayo.” (Lara Carrera, 1980)

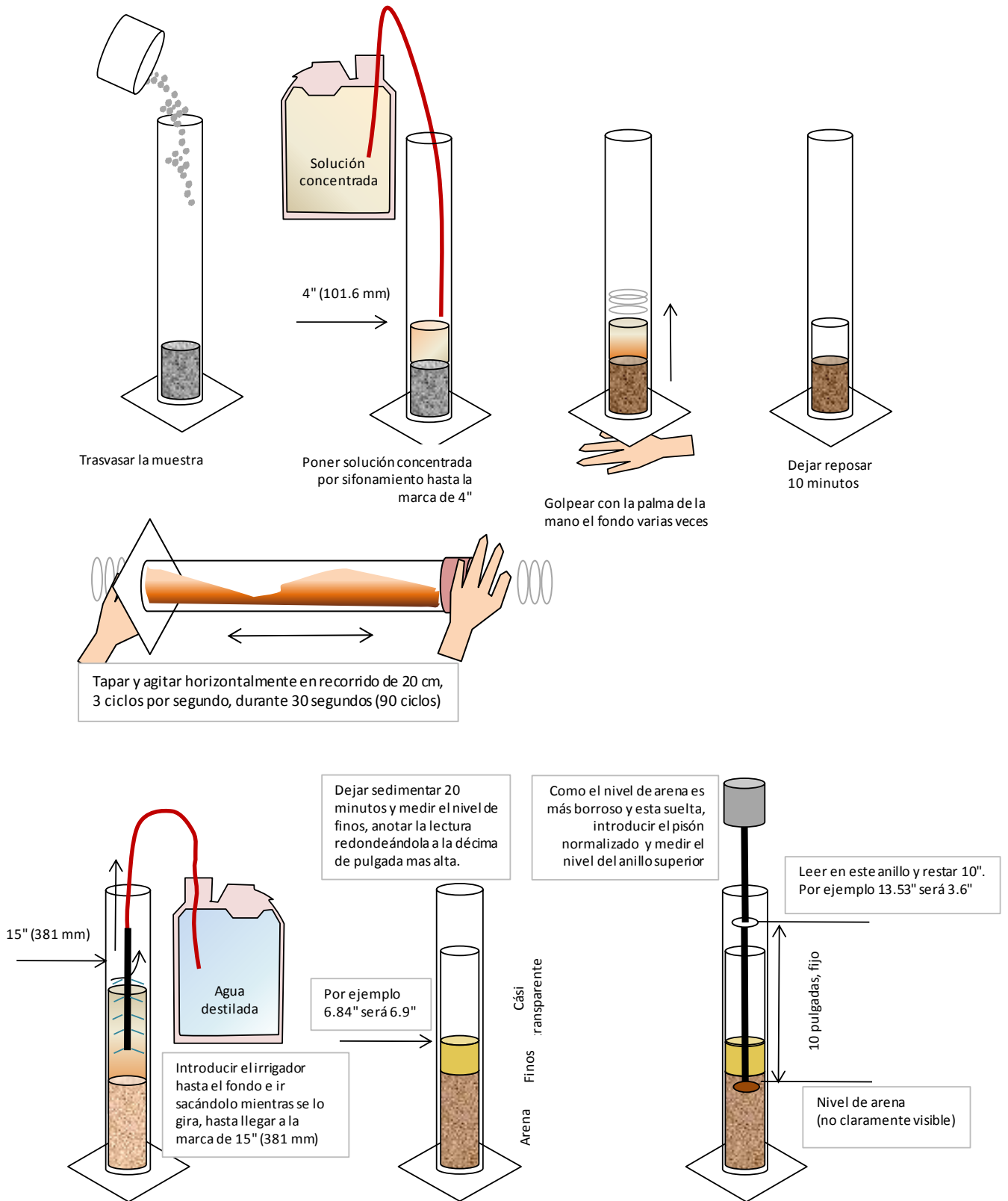
Gráfico 2.27 Preparación de la muestra

Video recomendado <https://www.youtube.com/watch?v=KSG83gr7Q00>



2.10.3 Procedimiento para el ensayo

Gráfico 2.28 Procedimiento para el ensayo de equivalente de arena



2.10.4 Resultados de los ensayos

A continuación presentamos los resultados

Tabla 2.26 Resultados del ensayo de equivalente de arena

Mina		Cusuco	
Material		Arena azul	
Muestra N°	Lectura de finos (pulg)	Lectura de arena (pulg)	Equivalente de arena
1	7.0	3.4	49%
Promedio			49%

Mina		Rumicucho	
Material		Arena roja	
Muestra N°	Lectura de finos (pulg)	Lectura de arena (pulg)	Equivalente de arena
1	7.3	3.3	46%
Promedio			46%

Mina		Rocafuerte	
Material		Arena roja	
Muestra N°	Lectura de finos (pulg)	Lectura de arena (pulg)	Equivalente de arena
1	6.5	3.7	57%
Promedio			57%

Mina		Volcán 1	
Material		Arena roja	
Muestra N°	Lectura de finos (pulg)	Lectura de arena (pulg)	Equivalente de arena
1	6.9	3.6	53%
2	7.4	3.8	52%
Promedio			53%

2.11. Sumario de características y elección de la cantera.

De los resultados obtenidos en los ensayos vamos a establecer las siguientes consideraciones:

- Para la dosificación de las mezclas se va a realizar una separación de fracciones por tamaños de los agregados para cada tamiz de una serie continua desde 1” hasta tamiz N°200, y se elaborarán curvas granulométricas volviendo a mezclar los materiales en las proporciones necesarias para obtener dichas curvas. Esto significa que el cumplimiento o no de los rangos de material natural que pasa por cada uno de los tamices, no será necesario. En otras palabras, podemos

escoger material de cualquier cantera sin importar que cumpla las normas de distribución granulométricas indicadas en las tablas 2.2 y 2.3.

- Por este mismo hecho de utilizar una granulometría continua para la dosificación, debemos tener cuidado de que la gravedad específica sea muy similar para evitar correcciones por peso en la distribución volumétrica de las partículas.
- Es deseable que los materiales tengan alto contenido de material fino que pasa por el tamiz N°200, alto contenido de terrones de arcilla y bajo equivalente de arena; para poder disponer de suficientes finos para incorporar en las mezclas de hormigones.
- Debido a que se analizarán hormigones en un amplio rango de resistencias, se va a requerir el cumplimiento de las normas ASTM C131 e INEN NTE871, respecto al desgaste máximo por abrasión en la máquina de los ángeles, para garantizar que la resistencia del concreto no esté limitada por la del agregado grueso.
- A la resistencia al ataque de sulfatos también le damos importancia, para minimizar los factores que puedan alterar los resultados.
- Como todas las arenas cumplen el ensayo de contenido orgánico, no incluiremos este parámetro en la comparación
- A la importancia de cada parámetro le daremos un peso y de esta manera se elegirá la cantera para la extracción del material.

Tabla 2.27 Sumario de resultados y elección de cantera

Parámetro	Peso	Signo	Procedencia			
			Cusuco	Rumicucho	Rocafuerte	Volcán 1
Material fino que pasa N°200						
Valor obtenido	%		7.44%	11.63%	6.20%	7.80%
Valoración	10	+	6.39	10.00	5.33	6.70
Contenido de terrones de arcilla						
Valor obtenido	%		1.66%	2.90%	0.78%	0.95%
Valoración	10	+	5.71	10.00	2.69	3.26
Equivalente de arena						
Valor obtenido	%		49%	46%	57%	53%
Valoración	10	-	9.39	10.00	8.07	8.68
Variación de gravedad específica						
G.S. agregado fino	g/cm ³		2.367	2.312	2.321	2.311
G.S. agregado grueso	g/cm ³		2.440	2.426	2.355	2.347
Variación	%		3.08%	4.93%	1.50%	1.56%
Valoración	20	-	9.73	6.08	20.00	19.20
Desgaste por sulfatos ag. Fino						
Valor obtenido	%		13.62%	9.78%	6.76%	7.39%
Valoración	10	-	4.96	6.91	10.00	9.14
Desgaste por sulfatos ag. Grueso						
Valor obtenido	%		3.86%	1.33%	3.42%	2.86%
Valoración	10	-	3.44	10.00	3.88	4.64
Abrasión en la máquina de los ángeles						
Valor obtenido	%		55.07%	55.91%	25.82%	26.18%
Valoración	30	-	14.06	13.85	30.00	29.58
Totales	100		53.69	66.84	79.97	81.21

Observamos que prácticamente existe un empate entre Agregados Rocafuerte (mina de Pifo) y ByP internacional (Volcán 1). Elegimos este último por tener un menor precio de venta.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS EN EL CEMENTO Y MORTEROS.

3.1. Características anunciadas por el fabricante

3.1.1 Definición de cemento

Según Adam N. Neville, en su libro *Tecnología del concreto*, “el cemento se define como un material con propiedades adhesivas y cohesivas, que brindan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.” (Neville M., 1981).

3.1.2 Historia del cemento

- “Desde la antigüedad se usaban pastas y morteros de arcilla, greda, yeso y cal como argamasa de unión o recubrimiento.
- En la antigua Grecia se emplearon tobas volcánicas obtenidas en la isla Santorini.
- En el siglo I, en Roma, se utilizó cemento natural obtenido de Pozzuoli, cerca del volcán Vesubio.
- En el siglo XVIII, John Smeaton fundió la cimentación para un faro con mortero hidráulico de cal calcinada.” (Holcim Ecuador S.A., 2014)
- “En el siglo XIX, Louis Joseph Vicat realiza investigaciones acerca de morteros basados en cal viva, su fraguado, e inventa la punta que lleva su nombre, en 1918 publica su obra *Morteros y cementos*.” (Wikipedia, 2014).
- “En 1824, Joseph Aspdin y James Parker patentaron el cemento Portland, nombre debido a su color similar a las rocas de la isla homónima.
- En 1845, Isaac Johnson desarrolla el cemento moderno, como una mezcla de caliza y arcilla calcinadas.” (Holcim Ecuador S.A., 2014).

- “En 1887, el químico francés Henry Le Châtelier publicó “Composición de los morteros hidráulicos”. También ideó métodos para la medición de la gravedad específica del cemento, investigaciones sobre los silicatos, etc.” (Wikipedia, 2006).
- “Entre 1903 y 1907, Heinrich Magens desarrollo métodos para el transporte de hormigón fresco.” (Holcim Ecuador S.A., 2014)
- “En 1929, Robert Herman Bogue publica “Cálculos de compuestos en el cemento Portland”, en donde desarrolla la química del cemento y descubre las leyes que gobiernan la constitución del cemento y sus ecuaciones.” (Wikipedia, 2008).
- “En el Ecuador, en 1923 la empresa Industrias y Construcciones Cia. Ltda, de José Rodríguez Bonin abre la fábrica de cemento San Eduardo, con una capacidad de producción de 60-70 toneladas diarias.” (Holcim Ecuador S.A., 2014).

3.1.3 Características anunciadas por el fabricante.

Para esta monografía se escogió el uso de cemento Selva Alegre Portland puzolánico tipo IP. La historia del fabricante es:

- “Cemento Selvalegre se funda en 1974 con capital público y privado. En 1980 se produce el primer saco de cemento Portland tipo 1E.
- En 1994, la participación estatal de la empresa se vende al sector privado. “(Alafec, 2006).
- En 1996 entra en vigor la norma INEN NTE 490:96, "CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO REQUISITOS" que regula las características de los cementos para hormigones en usos estructurales, siendo de carácter obligatorio el uso de cemento Portland puzolánico tipo IP.
- En diciembre de 2004 la empresa es comprada por LaFarge, empresa francesa que con una inversión de \$ 130000000 amplía la capacidad de producción a 640000 toneladas anuales.

- En 2008, con una inversión de \$ 100000000, se vuelve a ampliar la capacidad de producción, esta vez a 1600000 toneladas anuales.
- En 2011 entra en vigencia la norma INEN 2380:2011, que establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos, liberando de algunas restricciones a su composición química y centrándose en la obtención de desempeño. El cemento de uso general pasa a tener la denominación Portland GU.
- En 2014 se fusionan Holcim y LaFarge.
- En noviembre de 2014 Unacem, Unión Andina de Cementos, empresa peruana con más de 60 años de experiencia, adquiere LaFarge cementos S.A. y vuelve a producir cemento Portland puzolánico tipo IP, en cumplimiento tanto de las normas para cementos compuestos como para los de uso general (INEN 490 y 2380, respectivamente).

Las características del producto, anunciadas por el fabricante son:

Tabla 3.1 Características del cemento selvalegre.
(Unacem, 2015), (INEN, 2012).

	Norma INEN		Cemento Selvalegre			
	Aplicable	Requisitos	Según Fabricante	? OK	Esta Monografía	? OK
Requisitos químicos						
Pérdida por calcinación	NTE160	≤ 5%	1.4%	√	1.9%	√
Oxido de magnesio (MgO)	NTE160	≤ 6%	2.3%	√	2.6%	√
Trióxido de azufre (SO ₃)	NTE160	≤ 4%	2.4%	√	2.5%	√
Sulfuro (S ²⁻)	NTE160	≤ 2%	N/E	--	N/E	--
Residuo insoluble	NTE160	≤ 1%	N/E	--	0.2%	√
Requisitos físicos						
Fraguado inicial (minutos)	NTE158	45 ≤ t ≤ 420	140	√	207	√
Expansión en autoclave	NTE 200	≤ 0.8%	0.04%	√	N/E	--
Contenido de aire	NTE 195	≤ 12%	4.50%	√	N/E	--
Resistencia a compresión de morteros (Kg/cm²)						
Edad (días)						
3	NTE 488	≥ 132.5	172	√	107.04	X
7		≥ 203.9	213	√	152.08	X
28		≥ 254.8	275	√	262.47	√

3.2.Gravedad específica del cemento.

Este ensayo resulta útil para conocer el peso específico de la masa del volumen total de partículas del cemento. Asumiremos que este volumen desplazará a parte del volumen de los agregados como material inerte (árido) sin presentar cambios volumétricos significativos por reacciones químicas en el hormigón fresco.

El volumen de partículas de cemento por unidad de volumen dosificado será:

$$V_c = \frac{A_n}{R_{a/c} * G_c} \quad \text{Ecuación 3.1 Siendo:}$$

V_c = volumen total de partículas de cemento.

A_n = contenido de agua neta.

$R_{a/c}$ = relación agua cemento.

G_c = gravedad específica del cemento.

Sugerencias al ensayo de gravedad específica

- Se puede emplear cualquier líquido que no sea reactivo con el cemento o sustancia a ensayar, siendo adecuado el uso de gasolina o kerosene por ser de baja viscosidad y no presentar volatilidad apreciable durante el ensayo.
- Para materiales con diferente gravedad específica, se puede usar el mismo método del matraz de Le Chatelier, variando la masa del material introducida de acuerdo a la expresión:

$$M = \frac{2 * G_{EST}}{V_{MAX} + V_{min} - V_{Enc}}$$

Ecuación 3.2

Siendo:

M = masa que deberá usarse para el ensayo.

G_{EST} = gravedad específica estimada antes del ensayo.

V_{MAX} = volumen máximo de aforo del matraz (24 ml en Le Chatelier).

V_{min} = volumen mínimo de aforo (18 ml en Le Chatelier).

V_{Enc} = volumen total de encerado (1 ml en Le Chatelier).

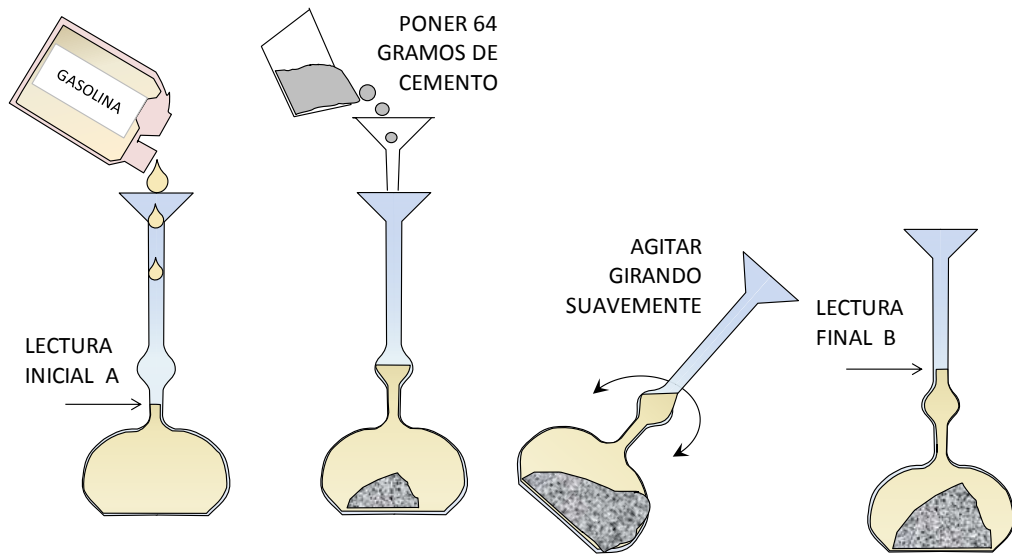
Tabla 3.2 Gravedad específica del cemento. Procedimiento y resultados
(Lara Carrera, 1980)

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

OBRA: ENSAYADO POR: Nohemí Castro José Paredes
 MUESTRA N° 1 CALCULADO POR: Nohemí Castro José Paredes
 DESCRIPCIÓN: Portland puzolánico IP APROBADO POR: Ing. Armando Lara
 NORMA: NTE INEN 490 FECHA: 30 octubre

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO



PESO DE LA MUESTRA
 DENSIDAD DEL AGUA

$M_c = 64.00 \text{ g}$
 $\delta_w = 0.998 \text{ g/cm}^3$

$V = B - A$

$G_s = \frac{M_c}{V \cdot \delta_w}$

LECTURA INICIAL $A = 0.10 \text{ cm}^3$
 LECTURA FINAL $B = 21.60 \text{ cm}^3$
 VOLUMEN DESALOJADO $V = 21.50 \text{ cm}^3$
 GRAVEDAD ESPECÍFICA $G_s = 2.977$

NOTA: Las unidades de δ_w serán las mismas de M_c/V

OBSERVACIONES: _____

3.3. Análisis químico de constituyentes

“Consiste en la determinación cuantitativa de los óxidos, anhídridos, álcalis y residuos del cemento. El análisis de laboratorio nos proporcionará la composición centesimal del cemento, de la cual podemos deducir la composición potencial con las fórmulas de Bogue. La composición centesimal estará formada por los componentes simples tales como óxidos y anhídridos, abreviados por conveniencia como sigue:

C=CaO	Oxido de calcio. (dentro de carbonatos, cal libre y yesos)
A=Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio.
S=SiO ₂	Dióxido de silicio.
F=Fe ₂ O ₃	Óxido férrico.
T=TiO ₂	Óxido de titanio.
M=MgO	Óxido de magnesio.
K=K ₂ O	Anhídrido de potasio.
N=Na ₂ O	Dióxido de sodio.
H=H ₂ O	Agua.

La composición potencial abarca la combinación a compuestos más complejos desde los contenidos de las materias simples antes enunciados, entre estos tenemos (escritos en forma abreviada):” (Mayor González, 1974)

Tabla 3.3 Principales constituyentes del cemento

(Mayor González, 1974)

Abrv.	Compuesto	Acción en el cemento	Rango en peso
SC3	Silicato tricálcico	Resistencia a corto plazo	60 á 80% combinados
SC2	Silicato bicálcico	Resistencia al cabo del tiempo	
AC3	Aluminato tricálcico	Acelera endurecimiento en primeras horas, ligeramente fundente en la fabricación de cemento. Reduce la resistencia al ataque de sulfatos y a los deshielos	2 á 14% <5% para resist. Adecuada a los sulfatos
AFC4	Aluminato-Ferrito-Tetracálcico	Fundente en la fabricación del cemento	~10%

Además pueden existir: FC2, AC2, AC, A3C5, A5C3, etc.

También debemos considerar:

Alc = Álcalis.

P.F. = Pérdida al fuego.

S.D. = Sin dosificar.

SO₄Ca = Anhidrita o como constituyentes del yeso hemihidrato y dihidrato.

Los calores de hidratación de los silicatos y aluminatos tienen propiedad aditiva y son los siguientes:

SC₃ = 120 cal/gr

SC₂ = 62 cal/gr

AC₃ = 207 cal/gr

AFC₄ = 100 cal/gr. (Mayor González, 1974)

Las formulas de Bogue, para la composición potencial del cemento son:

% AFC₄ = 3.04F **Ecuación 3.3 Potencial FerroAluminatoTetracálcico**

% AC₃ = 2.65A – 1.69F **Ecuación 3.4 Potencial Aluminato Tricálcico**

% SC₃ = 4.07C – 7.60S – 1.43F – 6.72A **Ecuación 3.5 Potencial Sulfato Tricálcico.**

% SC₂ = 2.86S – 0.75SC₃ **Ecuación 3.6 Potencial Sulfato Dicálcico.**

Estas fórmulas se cumplen satisfactoriamente para el cemento Portland, con la única salvedad de que en el FerroAluminatoTetracálcico están incluidos sus compuestos similares. (Wikipedia, 2008).

En la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Exactas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se realizaron los ensayos para determinar el análisis químico de los constituyentes del cemento Selvalegre tipo IP. Adjuntamos algunas fotografías del proceso.



Foto 3.1 Preparación de la muestra en solvente



Foto 3.2 Fraccionamiento de compuestos



Foto 3.3 Calcinación en mufla



Foto 3.4 Peso de residuo insoluble

En la siguiente tabla hemos recopilado los resultados que nos fueron entregados.

Tabla 3.4 Análisis químico del cemento

**ANÁLISIS QUÍMICO DE CONSTITUYENTES
LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA**

OBRA: ENSAYADO POR: Dra. Yolanda Jibaja
 MUESTRA N°: 1 CALCULADO POR: Dra. Yolanda Jibaja
 DESCRIPCIÓN: Portland puzolánico IP APROBADO POR: Ing. Armando Lara
 NORMA: NTE INEN 490

ANÁLISIS QUÍMICO DEL CEMENTO

PARÁMETROS	UNIDAD	RANGO	ENSAYO	OK?	FABRICANTE	OK?
QUÍMICOS						
Óxido de magnesio (MgO)	%	≤5	2.6	√	2.3	√
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	≤4	2.5	√	2.4	√
Pérdida por calcinación	%	≤4	1.9	√	1.4	√
Residuo insoluble	%	≤0.75	0.2	√	N/D	?

OBSERVACIONES:

Tanto en el ensayo como en los datos suministrados por el fabricante se cumple satisfactoriamente la norma, sin embargo, el fabricante no ha publicado el porcentaje de residuo precipitable.

En este análisis solo están incluidos los materiales perjudiciales, más no la composición de la fase base del cemento.

3.4. Finura Blaine.

“La finura es una propiedad muy importante del cemento y por ello tiene que someterse a un control cuidadoso, especialmente de los fabricantes. Un aumento de la finura del cemento tiene los siguientes efectos:

- ✓ Hidratación temprana: Se produce al existir mayor cantidad de aluminato tricálcico libre (C_3A).
- ✓ Desarrollo rápido de la resistencia a la compresión en el concreto, especialmente a edades cercanas a los 7 días.
- χ Mayor costo para moler mas finamente
- χ Las partículas más finas se deterioran más rápidamente durante el almacenamiento.
- χ Reacción más fuerte con los agregados alcalinos reactivos.
- χ Mayor contracción de la pasta y propensión al agrietamiento.

El parámetro de medición de la finura es el área específica, es decir la cantidad de superficie exterior de las partículas por unidad de peso (cm^2/gr).” (Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas, 2012).

3.4.1 Determinación de la finura usando el aparato de Blaine

Realizamos la determinación de la finura del cemento Portland usando el aparato de permeabilidad al aire de Blaine, para lo cual seguimos el proceso del capítulo 2, cementos, parte 10 del *Manual visualizado para ensayos de materiales de construcción*, por Ing. Lauro Lara Carrera, que lo podemos resumir en los siguientes pasos:

- a) “Determinación de la cantidad de la muestra de cemento.- Se lo realiza por desplazamiento de mercurio en la celda del aparato de Blaine, para conocer el

volumen U (cm^3) de una muestra de 2.8 gramos de cemento, con el promedio de 2 determinaciones, se calcula el peso de una muestra de cemento estándar, con peso específico ρ (típico 3.15 g/cm^3), porosidad deseada ε (típico $0,5\pm 0.005$) y superficie específica S_s (cm^2/g).

- b) Determinación del tiempo del cemento estándar. Se coloca en la celda el peso de cemento estándar calculado anteriormente y se la pone en el manómetro del aparato, asegurándose de que esté hermético, se registra la temperatura. Se llena de líquido hasta ligeramente antes de la marca inicial, a continuación se evacúa el aire abriendo la válvula hasta llegar a la marca de 0, entonces se cierra la válvula, el líquido comenzará a ascender y cuando llegue a la marca 1 se acciona el cronómetro. Se registra el tiempo hasta llegar a la marca 2. Se repite 2 veces más el procedimiento y se saca el promedio de los 3 tiempos. Si ya se conoce el dato del tiempo del cemento estándar, solo será necesario realizarlo con el cemento que se va a analizar.
- c) Determinación del tiempo para la muestra real. Se realiza el procedimiento anterior con el cemento analizado.
- d) Cálculos. Obtenemos el factor de Blaine con la expresión: “(Lara Carrera, 1980).

Ecuación 3.7 Factor de Blaine $Fb = S_s/\sqrt{T_s}$ Siendo:

S_s , superficie específica del cemento estándar (dato del fabricante)

T_s , Tiempo que demora el cemento estándar entre la marca 1 y 2.

Si no ha variado la temperatura ambiente respecto al de prueba del cemento estándar, ni la porosidad se puede aplicar la ecuación:

Ecuación 3.8 Superficie específica del cemento $S = Fb \times \sqrt{T}$ Siendo:

S , superficie específica del cemento (cm^2/gr).

T , Tiempo que demora el cemento analizado entre la marca 1 y 2.

Caso contrario se deberá corregir por porosidad, viscosidad y/o gravedad específica.

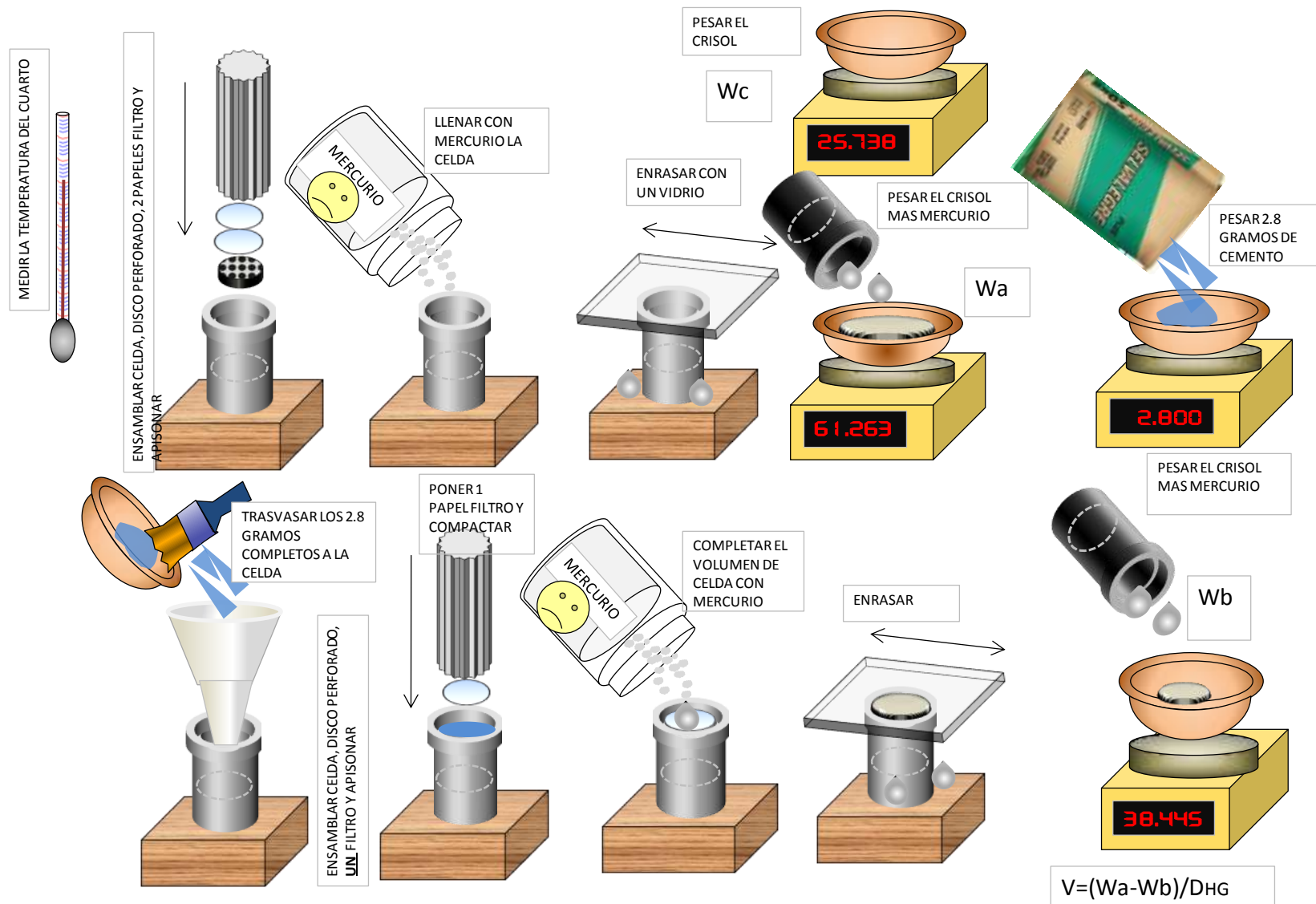


Gráfico 3.1 Determinación de la cantidad de la muestra de cemento

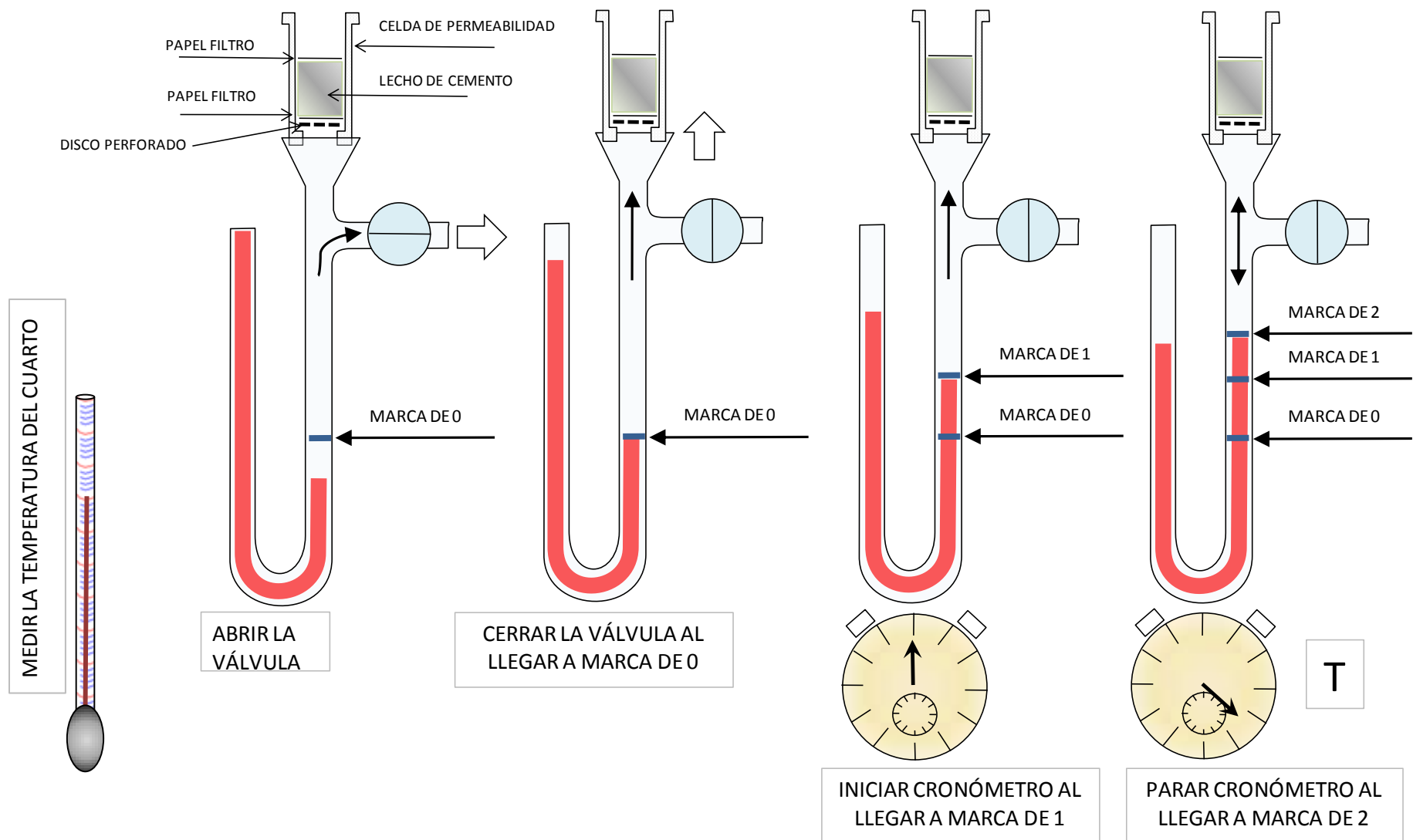


Gráfico 3.2 Determinación del tiempo en el aparato de Blaine

3.4.2 Determinación del volumen aparente

$$D_{hg}=13.6 - 0.00258 t \quad \text{Ecuación 3.9 densidad del mercurio}$$

$$V=(W_a-W_b)/D_{hg} \quad \text{Ecuación 3.10 volumen aparente}$$

Siendo: D_{hg} , Densidad del mercurio
 t , Temperatura del ensayo
 V , Volumen aparente
 W_a , Masa de mercurio para llenar celda y
 W_b , Masa de mercurio para llenar porción no ocupada por cemento

Tabla 3.5 Determinación del volumen aparente

	Parámetro	Analizado	Unidad
Temperatura del cuarto	t	23	°C
Masa de mercurio para llenar celda	W_a	105.00	gr
Masa de mercurio para llenar porción de celda no ocupada por capa de cemento	W_b	80.00	gr
Densidad del mercurio	D_{hg}	13.541	gr/cm ³
Volumen aparente	V	1.846	cm ³

3.4.3 Determinación de la superficie específica

$$\eta=(171+0.4897 t)/1000000 \quad \text{Ecuación 3.11 viscosidad del aire (poise)}$$

Ecuación 3.12 Superficie específica general

$$S = S_p * \sqrt{\frac{T}{T_p}} * \sqrt{\frac{\eta_p}{\eta} * \frac{1-\epsilon_p}{1-\epsilon}} \sqrt{\frac{\epsilon^3}{\epsilon_p^3} * \frac{\rho_p}{\rho}}$$

Siendo: η , Viscosidad del aire, durante el ensayo en el cemento analizado
 η_p , Viscosidad del aire, durante el ensayo en el cemento patrón
 t , Temperatura del ensayo
 S , Superficie específica del cemento analizado
 S_p , Superficie específica del cemento patrón
 T , Tiempo de recorrido del aire sobre el cemento analizado
 T_p , Tiempo de recorrido del aire sobre el cemento patrón
 ϵ , Porosidad del lecho de cemento analizado
 ϵ_p , Porosidad del lecho de cemento patrón
 ρ , Gravedad específica del cemento analizado y
 ρ_p , Gravedad específica del cemento patrón

Nótese que si no varían cualquiera de los factores (temperatura ambiental, porosidad o densidad del cemento) entre los ensayos de cemento patrón y cemento analizado,

este(os) factores se simplifican. También se observa que en esta ecuación no se ha considerado la presión atmosférica, que en el caso de la ciudad de Quito ronda los 78 KPa, por lo que esta fórmula no es aplicable si se realiza la prueba del tiempo del cemento patrón en otra localización que la prueba con el cemento analizado, aunque se utilice el mismo aparato.

Tabla 3.6 Determinación de la superficie específica

	Parámetro	Patrón	Analizado	Unidad
Temperatura del cuarto	t	21	23	°C
Densidad de la muestra de cemento	Dc	3.150	2.977	gr/cm ³
Porosidad	e	0.500	0.500	
Masa de la muestra de cemento	Mc	2.908	2.748	gr
Viscosidad del aire	h	0.0001813	0.0001823	poise
Tiempo de la muestra de cemento	T	107.8	110.6	seg
Superficie específica de la muestra	S	3774	4033	cm ² /gr

3.5. Tiempo de fraguado y consistencia normal.

El objeto de este ensayo es el de determinar el tiempo que transcurre desde el momento en que se añade el agua de amasado hasta aquel en que la pasta deja de ser fluida (período de fraguado. inicial), y también el tiempo necesario para que la misma pasta adquiera cierto grado de dureza (período de fraguado final). El primero es el más importante, siendo así que, con el principio de fraguado, empieza el fenómeno del endurecimiento y de la cristalización; como una perturbación en el orden de estos fenómenos puede disminuir la resistencia, es indispensable que las diversas operaciones del vaciado e incorporación de un mortero u hormigón en una obra se efectúen antes del período del fraguado inicial. (García Barrón, 2005).

Realizamos el ensayo de consistencia normal y tiempo de fraguado, por el método de Vicat que resumimos a continuación.

Tabla 3.7 Consistencia normal y tiempo de fraguado

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO Y CONSISTENCIA DE MORTEROS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

OBRA:	ENSAYADO POR:	Nohemí Castro José Paredes
MUESTRA N°: 1	CALCULADO POR:	Nohemí Castro José Paredes
DESCRIPCIÓN: Portland puzolánico IP	APROBADO POR:	Ing. Armando Lara
NORMA: NTE INEN 490	FECHA:	30 octubre

TIEMPO DE FRAGUADO Y CONSISTENCIA NORMAL POR EL MÉTODO DE VICAT

1. CONSISTENCIA NORMAL

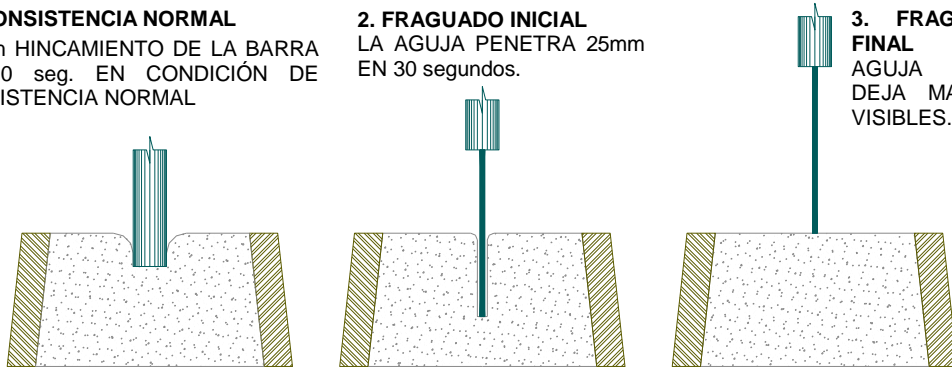
10 mm HINCAMIENTO DE LA BARRA EN 30 seg. EN CONDICIÓN DE CONSISTENCIA NORMAL

2. FRAGUADO INICIAL

LA AGUJA PENETRA 25mm EN 30 segundos.

3. FRAGUADO FINAL

LA AGUJA NO DEJA MARCAS VISIBLES.



Disposición de la aguja del penetrómetro de Vicat en cada etapa del ensayo.

1. DOSIFICACION DE LA PASTA CEMENTANTE PARA CONSISTENCIA NORMAL

AGUA (g)	CEMENTO (g)	PENETRACIÓN (mm)	% AGUA/CEMENTO
140	500	10.5	28%

CONSISTENCIA NORMAL: 28%

2. TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL

HORA DE INICIACIÓN DEL ENSAYO: T1 = 12H 15'

HORA DE FINALIZACIÓN DEL ENSAYO: T2 = 15H 42'

TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL: $T_i = T_2 - T_1 = 3H 27'$

3. TIEMPO DE FRAGUADO FINAL

HORA DE FINALIZACIÓN DEL ENSAYO: T3 = 20H 30'

TIEMPO DE FRAGUADO FINAL: $T_f = T_3 - T_1 = 8H 15'$

OBSERVACIONES: _____

3.6. Ensayo de compresión y tracción de morteros

Se realizó el ensayo de compresión normalizado en morteros y adicionalmente ensayos con la incorporación de diversos porcentajes de material fino que pasa por el tamiz #200 al agregado de los morteros, se conservó el proporcionamiento volumétrico de partículas de cemento con respecto al nuevo agregado.

En las siguientes cuatro páginas enumeramos los resultados de las pruebas de compresión y tracción realizadas en los morteros con diferentes dosificaciones de material fino y a los 3, 7 y 28 días de edad.

De los resultados de las pruebas de compresión de cubos de mortero, podemos observar que no cumplen con las normas AASHO T-106 e INEN C490 a los 3 y 7 días. Sin embargo si se cumple para la norma INEN C490 a los 28 días. La norma AASHO se refiere a cementos tipo I, y no a IP, sin embargo, tampoco cumple con la norma INEN 488, que se refiere a cementos compuestos, dentro de los cuales se incluye al cemento Portland Puzolánico y a los cementos GU. Esto pudo deberse a que los ensayos en el cemento se realizaron después que las dosificaciones de hormigones y el tiempo de almacenamiento estaba cercano a los 3 meses.

“El profesor J.B. Johnson, basándose en los experimentos de Tettmayer, que van desde 7 días a 1 año, ha deducido una fórmula de la relación entre la tracción y la compresión del mortero de Portland en diferentes épocas, fórmula que puede escribirse:”(García Barrón, 2005)

Ecuación 3.13 relación entre tracción y compresión a una edad “A”

$$C/T = 8.64 + 1.7 \cdot \log A \quad \text{(García Barrón, 2005)} \quad \text{Siendo:}$$

C/T Relación por cociente entre resistencia a compresión y tracción

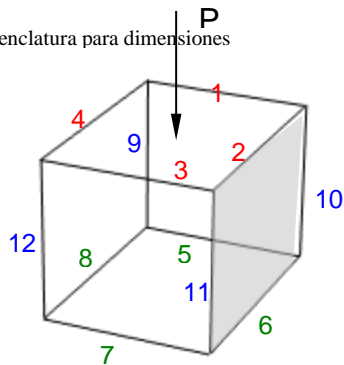
A Edad del mortero en días.

Este valor lo comparamos con las normas AASHO T-106 y ASTM C109/INEN 490.

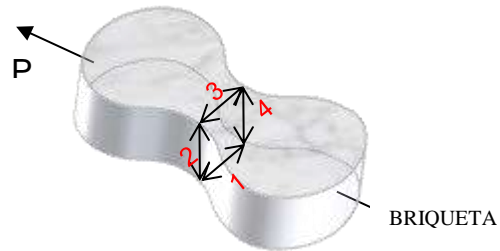
Tabla 3.7 Compresión de morteros a 3 días de edad

a) Compresión de cubos							Edad: 3 días		
Lote	A (con 0% de MF200)			B (con 6% de MF200)			C (con 12% de MF200)		
Muestra #	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Arista									
1	5.04	4.98	5.03	5.10	5.11	5.13	4.98	5.05	5.07
2	5.14	5.08	5.08	4.97	5.14	5.05	5.14	5.09	5.12
3	5.02	4.99	5.05	5.00	5.00	5.10	5.03	5.10	5.09
4	5.14	5.09	5.09	4.97	5.12	5.04	5.13	5.08	5.12
5	4.98	4.99	5.14	5.06	5.09	5.03	5.03	5.07	5.03
6	5.13	5.07	5.09	4.98	5.15	5.04	5.12	5.11	5.10
7	4.98	5.00	5.12	5.10	5.02	5.17	5.02	5.04	5.00
8	5.14	5.08	5.11	4.98	5.12	5.04	5.11	5.10	5.09
9	4.98	5.01	5.05	5.19	4.99	5.16	5.03	5.08	5.07
10	4.96	4.98	5.06	5.14	4.99	5.12	5.02	5.07	5.09
11	4.96	5.00	5.05	5.16	5.00	5.10	5.04	5.06	5.09
12	4.98	5.03	5.05	5.15	5.00	5.08	5.03	5.06	5.08
Peso seco	276.5	278.9	285.2	284.7	286.0	288.2	284.2	284.8	285.9
Peso sumerg.	148.2	150.6	153.7	154.3	155.3	155.7	153.6	153.5	154.1
Carga rotura(Kg)	2846	2705	2905	1947	1971	1955	1451	1488	1605
Altura promedio	4.97	5.01	5.05	5.16	5.00	5.12	5.03	5.07	5.08
AreaSup. cm2	25.85	25.35	25.63	25.10	25.93	25.81	25.70	25.81	26.01
AreaInf. cm2	25.57	25.35	26.16	25.30	25.96	25.70	25.70	25.81	25.55
Area Prom. cm2	25.71	25.35	25.90	25.20	25.94	25.75	25.70	25.81	25.78
Vol.(peso) cm3	128.32	128.37	131.52	130.47	130.68	132.51	130.60	131.37	131.85
Vol.(dims) cm3	127.79	126.87	130.84	130.02	129.59	131.73	129.28	130.77	131.03
Var %	0.41	1.18	0.52	0.34	0.84	0.59	1.02	0.46	0.63
Densidad q/cm3	2.155	2.173	2.168	2.182	2.188	2.175	2.176	2.168	2.169
Esfuerzo Max.Kg/cm ²	110.67	106.72	112.16	77.28	75.97	75.92	56.47	57.67	62.26
Promedio Variación s característica alfa	109.85 ±2.48%			76.39 ±0.89%			58.80 ±4.93%		
	107.0 1.00			75.6 1.00			55.7 1.00		
AASHO T-106 (tipo I)	No cumple			No cumple			No cumple		
ASTM C109/INEN 490	No cumple			No cumple			No cumple		

Nomenclatura para dimensiones



CUBO



BRIQUETA

Nota:

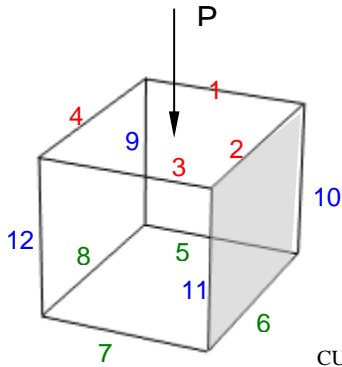
La superficie sombreada corresponde a la superior

Tabla 3.8 Tracción de morteros a 3 días de edad

b) Tracción de briquetas							Edad: 3 días		
Lote	A (con 0% de MF200)			B (con 6% de MF200)			C (con 12% de MF200)		
Muestra #	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Estrangulamiento									
1	2.53	2.52	2.54	2.54	2.55	2.55	2.52	2.53	2.60
2	2.61	2.61	2.65	2.64	2.59	2.62	2.57	2.55	2.61
3	2.53	2.53	2.56	2.53	2.53	2.53	2.54	2.55	2.54
4	2.59	2.61	2.61	2.64	2.59	2.62	2.58	2.57	2.59
Peso seco (g)	137.7	137.5	140.7	146.1	143.5	144.2	144.1	142.0	145.5
Peso sumerg.(g)	73.2	73.3	75.0	79.2	77.6	77.9	78.1	77.0	78.8
Carga rotura(lb)	256	287	255	216	196	213	181	162	154
Carga rotura(Kg)	115.9	129.9	115.4	97.8	88.7	96.4	81.9	73.3	69.7
Sección (cm2)	6.58	6.59	6.71	6.69	6.58	6.65	6.51	6.50	6.68
Volumen (cm3)	64.46	64.20	65.77	66.92	65.84	66.33	65.97	65.06	66.67
Densidad (g/cm3)	2.14	2.14	2.14	2.18	2.18	2.17	2.18	2.18	2.18
Esfuerzo Max.Kg/cm ²	17.6	19.7	17.2	14.6	13.5	14.5	12.6	11.3	10.4
Promedio Variación s característica Alfa	18.18 ±6.88%			14.20 ±3.96%			11.43 ±9.38%		
	16.84 1.00			13.58 1.00			10.35 1.00		

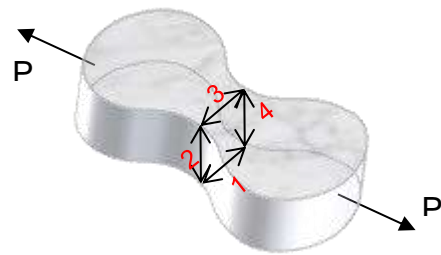
Tabla 3.9 Compresión de morteros a 7 días de edad

Lote	a) Compresión de cubos						Edad: 7 días		
	A (con 0% de MF200)			B (con 6% de MF200)			C (con 12% de MF200)		
Muestra #	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Arista									
1	5.15	5.04	5.09	5.18	5.03	5.14	5.03	5.06	5.00
2	5.08	5.08	5.16	5.05	5.15	5.12	5.10	5.11	5.05
3	5.11	5.11	5.15	5.09	5.18	5.11	5.00	5.05	5.12
4	5.10	5.08	5.17	5.05	5.14	5.12	5.10	5.11	5.06
5	5.13	5.12	5.12	5.00	5.11	5.21	5.04	5.08	5.12
6	5.07	5.06	5.14	5.04	5.15	5.10	5.10	5.11	5.05
7	5.13	5.12	5.06	5.09	5.18	5.19	5.02	5.06	5.09
8	5.10	5.07	5.13	5.02	5.15	5.10	5.12	5.11	5.05
9	5.12	5.13	5.02	5.13	5.05	5.08	5.08	5.09	5.12
10	5.13	5.12	5.04	5.15	5.06	5.10	5.07	5.11	5.13
11	5.12	5.11	5.04	5.14	5.05	5.07	5.09	5.08	5.12
12	5.14	5.14	5.08	5.13	5.03	5.07	5.12	5.09	5.13
Peso seco	288.1	284.3	283.8	286.8	288.7	292.4	282.4	285.0	284.9
Peso sumerg.	156.0	153.9	153.2	155.8	157.1	159.2	153.4	154.9	153.9
Carga rotura(Kg)	4099	3960	4371	3181	3298	3228	3362	3144	3192
Altura promedio	5.13	5.13	5.05	5.14	5.05	5.08	5.09	5.09	5.13
AreaSup. cm2	26.11	25.78	26.44	25.93	26.27	26.24	25.58	25.83	25.58
Arealnf. cm2	26.09	25.93	26.14	25.38	26.50	26.52	25.70	25.91	25.78
Area Prom. cm2	26.10	25.86	26.29	25.65	26.38	26.38	25.64	25.87	25.68
Vol.(peso) cm3	132.11	130.45	130.61	130.99	131.55	133.17	128.99	130.08	130.99
Vol.(dims) cm3	133.82	132.52	132.64	131.80	133.16	134.01	130.51	131.74	131.61
Var %	-1.28	-1.56	-1.53	-0.61	-1.21	-0.63	-1.16	-1.26	-0.47
Densidad g/cm3	2.181	2.180	2.173	2.189	2.195	2.196	2.189	2.191	2.175
Esfuerzo Max.Ka/cm ²	157.0	153.1	166.2	124.0	125.0	122.4	131.1	121.5	124.3
Promedio Variación s característica alfa		158.8	±4.13%		123.8	±1.06%		125.7	±3.82%
		152.1	1.00		122.5	1.00		120.7	1.00
AASHO T-106 (tipo I)		No cumple			No cumple			No cumple	
ASTM C109/INEN 490		No cumple			No cumple			No cumple	



CUBO

Nomenclatura para dimensiones



BRIQUETA

Nota:

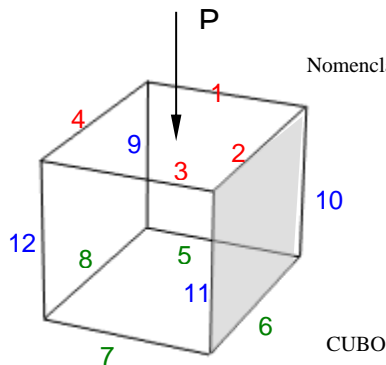
La superficie sombreada corresponde a la superior

Tabla 3.10 Tracción de morteros a 7 días de edad

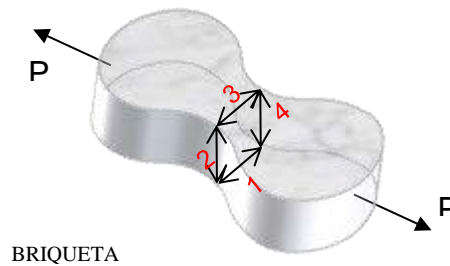
Lote	b) Tracción de briquetas						Edad: 7 días		
	A (con 0% de MF200)			B (con 6% de MF200)			C (con 12% de MF200)		
Muestra #	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Estrangulamiento									
1	2.60	2.59	2.60	2.58	2.58	2.61	2.56	2.56	2.60
2	2.66	2.63	2.62	2.68	2.64	2.69	2.60	2.59	2.63
3	2.59	2.60	2.61	2.57	2.59	2.57	2.58	2.54	2.59
4	2.69	2.64	2.62	2.68	2.65	2.68	2.57	2.58	2.66
Peso seco (g)	140.7	138.3	140.9	144.0	145.7	146.8	142.5	140.7	146.2
Peso sumerg.(g)	75.0	73.8	74.6	78.0	79.3	79.6	77.3	76.4	79.6
Carga rotura(lb)	361	325	290	362	364	337	332	306	288
Carga rotura(Kg)	163.4	147.1	131.3	163.9	164.8	152.6	150.3	138.5	130.4
Sección (cm2)	6.94	6.84	6.83	6.90	6.84	6.95	6.64	6.59	6.86
Volumen (cm3)	65.68	64.51	66.30	65.92	66.38	67.14	65.15	64.26	66.59
Densidad (g/cm3)	2.14	2.14	2.12	2.18	2.19	2.19	2.19	2.19	2.20
Esfuerzo Max.Kg/cm ²	23.5	21.5	19.2	23.7	24.1	21.9	22.6	21.0	19.0
Promedio Variación s característica Alfa		21.43	±10.05%		23.26	±4.65%		20.88	±8.69%
		19.3	1.00		22.1	1.00		19.1	1.00

Tabla 3.11 Compresión de morteros a 28 días de edad

a) Compresión de cubos							Edad: 28 días		
Lote	A (con 0% de MF200)			B (con 6% de MF200)			C (con 12% de MF200)		
Muestra #	7	8	9	7	8	9	7	8	9
Arista									
1	5.05	5.04	5.08	5.14	5.16	5.11	5.04	5.10	5.03
2	5.14	5.05	5.11	5.10	5.14	5.14	5.09	5.14	5.02
3	5.07	5.11	5.08	5.05	5.20	5.02	5.09	5.01	5.13
4	5.15	5.06	5.12	5.10	5.16	5.14	5.11	5.15	5.04
5	5.00	5.17	5.13	5.19	5.05	5.09	5.05	5.05	5.10
6	5.16	5.06	5.12	5.09	5.12	5.12	5.15	5.13	5.01
7	5.03	5.06	5.13	5.10	5.16	5.16	5.08	5.07	5.13
8	5.17	5.05	5.13	5.08	5.15	5.12	5.13	5.14	5.03
9	5.05	5.17	5.09	5.15	5.09	5.10	5.12	5.08	5.17
10	5.02	5.14	5.08	5.16	5.10	5.11	5.10	5.05	5.18
11	5.03	5.15	5.09	5.13	5.09	5.08	5.10	5.05	5.19
12	5.05	5.16	5.11	5.16	5.10	5.10	5.09	5.05	5.21
Peso seco	278.2	284.1	280.6	292.2	292.8	286.3	284.6	282.7	284.8
Peso sumerg.	149.4	153.4	150.4	159.1	160.2	155.7	154.5	152.9	154.1
Carga rotura(Kg)	7880	6707	7564	7146	7120	7319	7166	6677	6922
Altura promedio	5.04	5.16	5.09	5.15	5.10	5.10	5.10	5.06	5.19
AreaSup. cm2	26.03	25.65	25.98	25.98	26.68	26.03	25.83	26.01	25.55
AreaInf. cm2	25.90	25.86	26.29	26.16	26.21	26.24	26.03	25.98	25.68
Area Prom. cm2	25.97	25.76	26.14	26.07	26.45	26.14	25.93	26.00	25.61
Vol.(peso) cm3	128.87	130.75	130.17	133.11	132.57	130.58	130.10	129.82	130.67
Vol.(dims) cm3	130.81	132.77	133.11	134.28	134.74	133.23	132.32	131.47	132.88
Var %	-1.49	-1.52	-2.21	-0.87	-1.61	-1.99	-1.68	-1.26	-1.66
Densidad g/cm3	2.16	2.17	2.16	2.20	2.21	2.19	2.19	2.18	2.18
Esfuerzo Max.Ka/cm ²	303.45	260.41	289.39	274.07	269.23	280.02	276.33	256.85	270.23
Promedio Variación s característica Alfa		284.42	±7.57%		274.44	±1.97%		267.81	±3.64%
		262.5	1.00		269.0	1.00		257.8	1.00
AASHO T-106 (tipo I)		No cumple			No cumple			No	
ASTM C109/INEN 490		Si cumple			Si cumple			Si	



Nomenclatura para dimensiones



Nota:
La superficie sombreada corresponde a la superior

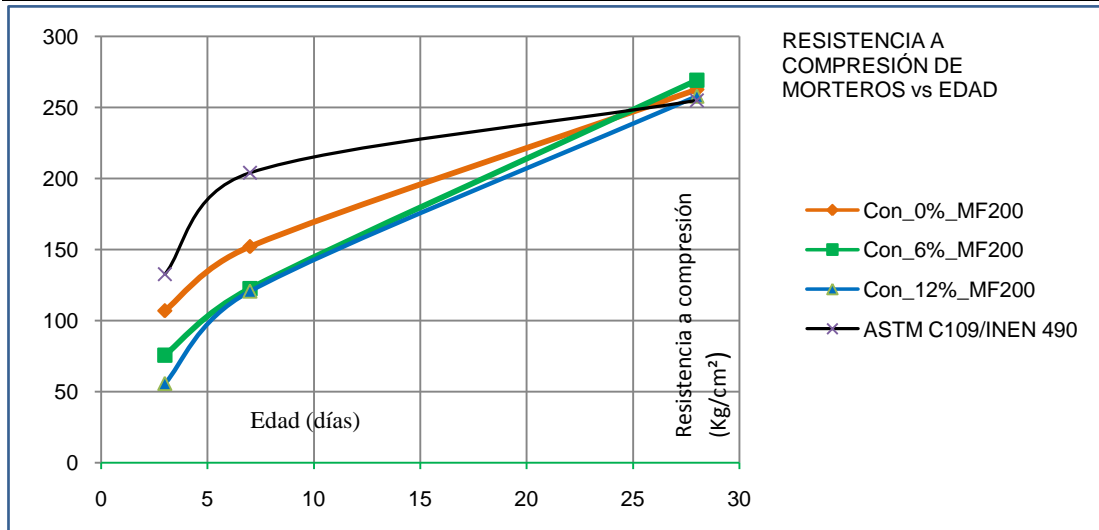
Tabla 3.12 Tracción de morteros a 28 días de edad

b) Tracción de briquetas							Edad: 28 días		
Lote	A (con 0% de MF200)			B (con 6% de MF200)			C (con 12% de MF200)		
Muestra #	7	8	9	7	8	9	7	8	9
Estrangulamiento									
1	2.62	2.58	2.59	2.59	2.62	2.60	2.59	2.62	2.57
2	2.66	2.62	2.66	2.70	2.65	2.66	2.59	2.62	2.62
3	2.65	2.58	2.58	2.57	2.60	2.61	2.57	2.61	2.61
4	2.65	2.61	2.63	2.74	2.72	2.65	2.60	2.64	2.62
Peso seco (g)	136.77	135.05	136.77	147.02	148.05	147.29	140.10	144.79	142.25
Peso sumerg.(g)	72.19	71.74	72.60	79.99	80.71	80.44	76.22	79.16	77.41
Carga rotura(lb)	439.0	424.0	487.0	429.0	458.0	417.0	457.0	456.0	436.0
Carga rotura(Ka)	198.7	191.9	220.5	194.2	207.3	188.8	206.9	206.4	197.4
Sección (cm2)	7.00	6.75	6.84	7.02	7.01	6.92	6.70	6.88	6.79
Volumen (cm3)	64.58	63.31	64.17	67.03	67.34	66.85	63.88	65.63	64.84
Densidad (g/cm3)	2.12	2.13	2.13	2.19	2.20	2.20	2.19	2.21	2.19
Esfuerzo Max.Ka/cm ²	28.41	28.45	32.24	27.67	29.59	27.29	30.90	30.02	29.09
Promedio Variación s característica Alfa		29.70	±6.46%		28.18	±4.07%		30.00	±3.02%
		27.5	1.00		27.0	1.00		29.1	1.00

Tabla 3.10 Interpretación resultados de morteros

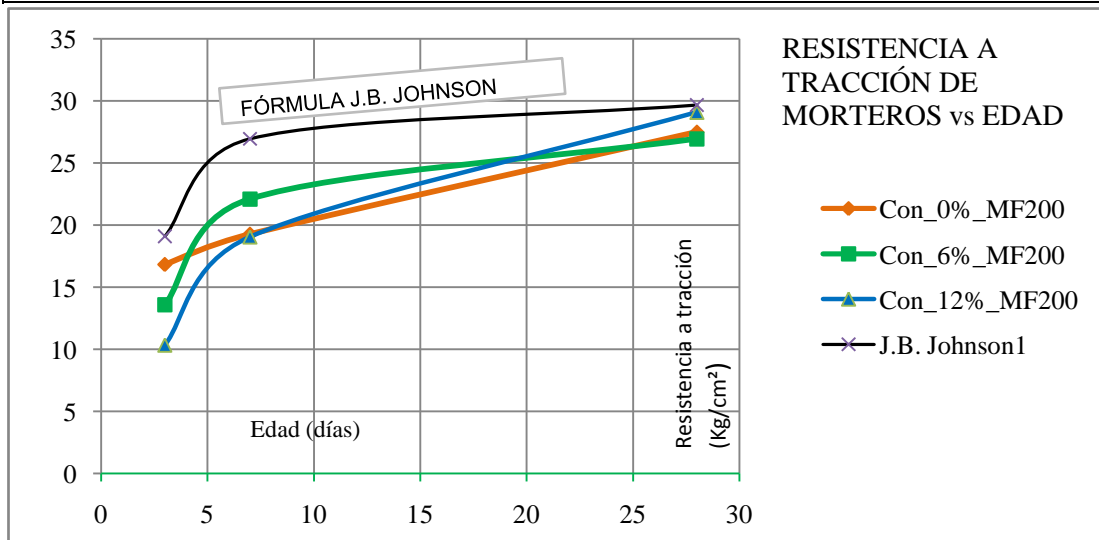
Resistencia a compresión

EDAD (días) \ % MATERIAL FINO	3	7	28
0	107.04 No cumple	152.08 No cumple	262.47 Si cumple
6	75.62 No cumple	122.47 No cumple	269.04 Si cumple
12	55.74 No cumple	120.71 No cumple	257.84 Si cumple
ASTM C109/INEN 490	132.52	203.87	254.84



Resistencia a tracción

EDAD (días) \ % MATERIAL FINO	3	7	28
0	16.84 No cumple	19.28 No cumple	27.50 No cumple
6	13.58 No cumple	22.10 No cumple	26.96 No cumple
12	10.35 No cumple	19.06 No cumple	29.09 No cumple
J.B. Johnson ¹	19.09	26.95	29.67



Comparado con la fórmula de J.B. Johnson que relaciona resistencia a compresión con tracción de morteros a una edad A

$$C/T = 8.64 + 1.7 \log(A)$$

3.7. Comparación con análisis de laboratorio del fabricante

En 3.1.3 ya enumeramos las características anunciadas por el fabricante de cemento selvalegre, de acuerdo a las cuales se cumplen a cabalidad todas las normas INEN pertinentes, sin embargo, en los ensayos que realizamos para compresión de morteros no se cumple con la resistencia a compresión a 3 y 7 días, encontrándonos con una diferencia por defecto de hasta 25% a los 7 días. Como ya mencionamos en 3.6, esto puede deberse a que el cemento estaba ya cercano a una edad de 3 meses desde su fecha de fabricación, esto tal vez se manifiesta también en el tiempo mayor de fraguado inicial que obtuvimos de 207 minutos vs. 140, anunciados por el fabricante. En cualquier caso, los ensayos en los hormigones fueron hechos con el mismo lote de cemento a edades más tempranas (de 1 a 2 meses), por lo que como veremos más adelante, su evolución de resistencias es más coherente.

CAPÍTULO 4

DOSIFICACIÓN Y DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

4.1.Procedimientos previos y metodología.

Como se indicó anteriormente, al analizar los materiales de varias canteras, se optó por la utilización del material con mayor resistencia a la abrasión y a la vez que contenga gran cantidad de material fino que pasa por el tamiz N°200 (MF200), terrones de arcilla y bajo equivalente de arena.

Luego se consiguió una cantidad adecuada de material (aproximadamente 1.2m³ de ripio y 1.6m³ de arena), el cual se secó extendiéndolo a la intemperie con el cuidado de cubrirlo con plástico los días lluviosos, el secado remanente se lo realizó al interior del laboratorio. Se procedió a tamizar la totalidad del material con el empleo de una tamizadora mecánica para las siguientes series:

Tabla 4.1 Tamices utilizados en la separación de tamaños

Agregado grueso		Agregado fino	
ASTM	mm	ASTM	Mm
1 ½"	38.1	#4	4.76
1"	25.4	#8	2.38
½"	19.2	#16	1.19
3/8"	9.51	#30	0.60
#4	4.76	#60	0.25
#60	0.25	#100	0.15
#200	0.074	#200	0.074
P#200	<.074	P#200	<.074

Las fracciones así obtenidas se guardaron en sacos hasta disponer de la cantidad necesaria para poder realizar las dosificaciones. El MF200 se obtuvo por tamizado en seco.

Se optó por incluir como MF200, tanto al obtenido por el tamizado de arena y ripio (principalmente compuesto por polvo de piedra) como a material de otra procedencia, consistente en limo arenoso proveniente de los taludes de la autopista general Rumiñahui, en el sector del intercambiador del trébol. La razón para la

incorporación de limo, el cual puede resultar un material perjudicial, se debe a la posibilidad de contaminación de hormigones en obra, producida por mezcla accidental con el suelo circundante en mezclas con concreteira, generalmente limo arenoso en el caso de Quito y muchos lugares de la Sierra Ecuatoriana.

A este material adicional se lo analizó, tanto desde el punto de vista de los materiales de construcción, como de los suelos; es decir se realizaron sobre él los ensayos para materiales de construcción y los de mecánica de suelos.

De la monografía anterior *“Influencia del MF200 en la resistencia a la compresión del hormigón”* obtuvimos los porcentajes de MF200 (referidos al volumen de arena) bajo los cuales se producen variaciones en el comportamiento mecánico del hormigón. Determinamos que para valores de 0, 5, 10 y 15% de adición de MF200 podríamos esperar resultados interesantes.

Se realizó el cálculo de material MF200 equivalente que estuviere contenido dentro de la fracción que pasa por el tamiz #60 del limo, así como su contenido de materiales #100 y #200, para la corrección de los volúmenes desplazados de partículas de arena en las fracciones #100 y #200. De esta forma se pudo conocer la cantidad de limo equivalente a una cantidad de MF200 de la arena.

La mitad del volumen de partículas MF200 incorporadas provinieron de la arena y la otra mitad del limo.

4.2. Proporcionamiento recomendado por ACI y otros métodos.

4.2.1 Método ACI 211.91

“La selección de las proporciones del concreto incluye un balance entre los requerimientos mínimos para lograr la facilidad de colocación, resistencia, durabilidad, impermeabilidad y demás resultados frente a un costo razonable. El parámetro más destacado es la relación de agua cemento que influye en la resistencia

y la impermeabilidad. El tipo de cemento también influirá en las características obtenidas. La incorporación de aire influye positivamente en la durabilidad, sobre todo en hormigones sometidos a ambientes agresivos. Los aditivos ayudan para contrarrestar posibles deficiencias o conseguir propiedades especiales.

Las proporciones calculadas mediante cualquier método deben considerarse siempre como sujetas a revisión sobre la base de la experiencia obtenida con las mezclas de prueba. La estimación de los pesos requeridos para la dosificación de concreto de peso normal concuerda con las características de los materiales disponibles y las especificaciones de obra tales como:

- Relación agua/cemento máxima y resistencia mecánica.
- Contenido mínimo de cemento y contenido de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo del agregado grueso.
- Otros requisitos por margen de seguridad en resistencia, aditivos, cementos o agregados especiales.” (American Concrete Institute, 1995)

Para el proporcionamiento de las mezclas se seguirán los siguientes pasos:

4.2.1.1. Elección del asentamiento

Se puede elegir acorde al tipo de elemento:

Tabla 4.2 Asentamientos recomendables para diversos elementos

Tomado de la tabla A1.5.3.1 (American Concrete Institute, 1995)

Tipos de construcción	Asentamiento, mm	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado	75	2.5
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	75	2.5
Vigas y muros de concreto reforzado	100	2.5
Columnas	100	2.5
Pavimentos y losas	75	2.5
Concreto masivo	50	2.5
El asentamiento puede ser incrementado cuando se empleen aditivos tales como plastificantes, siempre que la relación agua-cemento sea menor o se mantenga y no muestre peligro de segregación o sangrado. Se puede aumentar 25 mm cuando se utilizan métodos de compactación diferentes al vibrado p.ej varillado.		

4.2.1.2. Elección del tamaño máximo del agregado grueso (TMA)

“En general, mientras mayor el TMA, se requerirá menor cantidad de mortero por unidad de volumen, por lo que es recomendable usar el máximo permitido de acuerdo a las dimensiones del diseño y en cumplimiento con las normas ACI, en lo referente a espaciado de varillas, recubrimientos, etc. El TMA responderá a dichas restricciones para evitar la posibilidad de formar cavidades por congestionamiento de armaduras en el hormigón.

El tamaño máximo nominal del agregado no será superior a:

- a) 1/5 de la separación menor entre los lados del encofrado
- b) 1/3 del peralte de la losa.
- c) 3/4 del espaciado mínimo libre entre varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de presfuerzo.” (American Concrete Institute, 1995)

4.2.1.3. Estimación del agua de mezclado y aire atrapado

Depende del asentamiento requerido, del TMA, de la forma de las partículas y de la granulometría de los agregados así como del aire incluido, como consta en la siguiente tabla: (American Concrete Institute, 1995)

Tabla 4.3 Agua neta en función de TMA

ACI 211.1 Tabla 6.33 transformada a sistema métrico (American Concrete Institute, 1995)

Agua en Kg/m³ de hormigón para TMAs indicados de agregado triturado												
Asentamiento,	D,		9.53	12.7	19.1	25.4	38.1	50.8	76.1	152		
min	MAX	Prom	Hormigón sin aire incluido									air=FALSO
2.54	5.08	3.59	208	199	187	178	163	154	130	113		
7.62	10.2	8.80	228	217	202	193	178	169	145	125		
15.24	17.8	16.46	243	228	214	202	187	178	160	140		
Aire atrapado, %			3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	0.5%	0.3%	0.2%		
min	MAX	Prom	Hormigón con aire incluido									Air=VERDADERO
2.54	5.08	3.59	181	175	166	160	148	142	122	107		
7.62	10.2	8.80	202	193	181	175	163	157	133	119		
15.24	17.8	16.46	217	205	193	184	172	166	154	135		
Aire incluido	Baía		4.5%	4.0%	3.5%	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%		
Nivel exposición	Moderada		6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.5%	4.0%	3.5%	3.0%		
Congelación, %	Extrema		7.5%	7.0%	6.0%	6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.0%		

De esta tabla hemos deducido la siguiente expresión:

Ecuación 4.1 Agua neta ACI

$$A_n = \frac{3890}{D^{0.01}} - 3602 - 0.075 \cdot \Delta^2 + 3.6 \cdot \Delta + \text{aire?} \cdot (8 \cdot \ln D - 44)$$

Siendo:

A_n , Agua neta en litros/m³

Δ , Asentamiento requerido, en cm

D , Tamaño máximo del agregado, en mm y

aire?, Es hormigón con aire incluido? (0= falso, 1= verdadero)

4.2.1.4. Elección de la relación agua-cemento

“Se determina no solamente por los requerimientos de resistencia sino también, por factores tales como la durabilidad y exposición a los agentes externos. A menor relación agua cemento mejor resistencia, durabilidad y acabado:” (American Concrete Institute, 1995).

Tabla 4.4 Relación agua/cemento por resistencia

Tomado de ACI 211.1 tabla A1.5.3.4(a) (American Concrete Institute, 1995)

Resistencia a compresión a 28 días, MPa	Relación agua-cemento, en peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
40	0.42	----
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.79

Esta tabla está calculada para agregados triturados y para cemento con designación P250, Portland o compuesto, que representa que la resistencia a compresión de cubos de mortero normalizados para este tipo de cemento deberá ser no menor a 250Kg/cm². De esta tabla se deduce una expresión consistente con la fórmula de

$$\text{Abrams: } f'c = \frac{1225}{13.5^{A/C}} \quad \text{Ecuación 4.2 Resistencia respecto a relación agua cemento}$$

Siendo:

$f'c$: Resistencia estimada en Kg/cm².

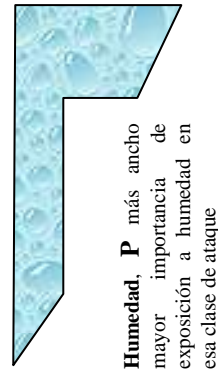
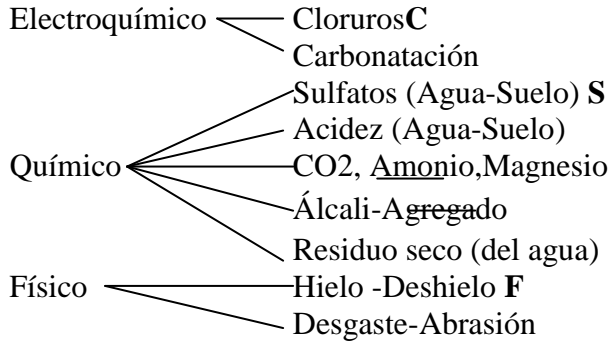
A/C: Relación agua cemento

La cual nos proporciona la resistencia estimada para hormigón sin aire incluido, empleando cemento de clase P250 y agregado grueso triturado.

Con respecto a la exposición a agentes externos, tenemos que se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes categorías:

Tabla 4.5 Ataques típicos para las estructuras de concreto reforzado

(Arcila Lopez, 2010)



Los requisitos de la instrucción de hormigón estructural EHE-08 (normativa de España), establecen la máxima relación agua-cemento, el mínimo contenido de cemento y la resistencia mínima que deberá tener el hormigón, acorde con el tipo de exposición, para garantizar durabilidad.

Tabla 4.6 Resumen de tablas 8.2.2-3, 37.3.2a y b de instrucción EHE-08.

(Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2011)

Tipo hormigón		Exposición a ataque por corrosión								Exposición por otras causas					
		I	IIb	IIa	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E	
Clase de exposición		Ninguno	Corrosión NO producida por cloruros		Corrosión por cloruros de ambiente marino			Cloruros no marinos	Ataque químico débil	Ataque químico medio	Ataque químico fuerte	Heladas, sin sales fundentes	Heladas, usando sal fundente	Erosión, abrasión o cavitación	
Característica de exposición		No Agresiva.	Normal, humedad media		Aérea		Sumergida	Intermitente zona de mareas	Sales, ambiente no marino	Ph ≥ 5,5, CO ₂ ≤ 40 mg/l, NH ₄ ≤ 30, Mg ₂ ≤ 1000 SO ₄ ≤ 600	Ph ≥ 4,5, CO ₂ ≤ 100mg/l, NH ₄ ≤ 60, Mg ₂ ≤ 3000, SO ₄ ≤ 300	Ph < 4,5, CO ₂ > 100 mg/l, NH ₄ > 60, Mg ₂ > 3000, SO ₄ > 300	Ataque producido por hielo-deshielo	Ataque producido por las sales de deshielo	Obra hidráulica, pavimentos, pilas
Máxima relación Agua/cemento	Masa	0.65								0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50
	Armado	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50	0.50
	Pretensado	0.60	0.60	0.55	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.45	0.45	0.55	0.50	0.50	0.50
Mínimo contenido de cemento (Kg/m ³)	Masa	200								275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300	300
Resistencia mínima (Kg/cm ²)	Masa	204								306	306	357	306	306	306
	Armado	255	255	306	306	306	357	306	306	306	357	306	306	306	306
	Pretensado	255	255	306	306	357	357	357	306	357	357	306	306	306	306

La norma ecuatoriana de construcción, de forma similar a ACI nos indica la resistencia mínima, relación agua cemento y otros parámetros como los valores máximos de porcentaje de cloruros sobre el peso de cemento para las condiciones de protección a corrosión de armaduras, aire incluido requerido para exposición a congelamiento y deshielo y el tipo de cemento o mezcla de materiales cementicios para hormigón expuesto a sulfatos.

Tabla 4.7 resumen de tablas 3, 4 y 5 del NEC-SE-HM (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Categorías	Protección a corrosión			Congelación y deshielo				Exposición a sulfatos				Impermeable					
	Clase	C0	C1	C2	F0	F1	F2	F3	S0	S1	S2	S3	P0	P1			
Severidad	Parámetro	No aplicable	Moderada	Severa	Parámetro	No existe	Moderada	Severa	Muy severa	Parámetro	No aplicable	Moderada	Severa	Muy severa	No aplicable	Requerida	
Condición	Contenido máximo de cloruros en agua (Cl ⁻) soluble Hormigón seco protegido contra la humedad	Hormigón expuesto a humedad, pero no a fuente externa de cloruros	Expuesto a humedad y fuente de cloruros por fundentes o agua salada	% que debe ser máximo en agua Hormigón no expuesto a ciclos de congelación y deshielo	Hormigón no expuesto a ciclos de congelación y deshielo	Expuesto a congelación, deshielo y humedad ocasional	Expuesto a congelación, deshielo y humedad continua	Expuesto a congelación, deshielo, humedad continua y productos desgelantes	SO ₄ disuelto en agua, PPM	SO ₄ soluble en agua en el suelo, %	SO ₄ <0.1	0.1≤SO ₄ <0.2	0.2≤SO ₄ <2.0	SO ₄ >2.0	En contacto con el agua, donde no se requiere baja permeabilidad	En contacto con el agua, donde si se requiere baja permeabilidad	
Máxima A/C	N/A	N/A	0.4	N/A	0.45	0.45	0.45	Norma sobre el cemento	N/A	0.5	0.4	0.4	N/A	0.5	N/A	0.5	
f _c mín,Kg/cm ²	173	173	357	173	316	316	316	173	285	316	316	173	285	173	285		
Valores	Hormigón reforzado				9.5	N/A	6.0	7.5	INEN 152	N/A	I/2	V/3	V				
		1.0%	0.3%	0.15%	12.5	N/A	5.5	7.0									
					19	N/A	5.0	6.0	INEN 490	N/A							
					25	N/A	4.5	6.0									
		0.06%	0.06%	0.06%	37.5	N/A	4.5	5.5		IP(MS)/IS(<70)(MS)							
					50	N/A	4.0	5.0	INEN 2380	N/A	MS	HS			HS		
	Hormigón prestresado				75	N/A	3.5	4.5									

El ACI establece que para condiciones severas de exposición, la relación agua materiales cementicios debería mantenerse baja aunque los requisitos de resistencia

se cumplan con un valor mayor. (American Concrete Institute, 1995).

Además, en la tabla 4.3 se indica el contenido de aire incluido que se debe tener para exposición a congelamiento-descongelamiento según ACI.

Tabla 4.8 Máxima relación A/C para exposición severa.

(American Concrete Institute, 1995)

Máxima relación A/C para exposición severa Tomado de ACI 211.1, tabla 6.3.4(b).		
Tipo de estructura	Estructura mojada continua o frecuentemente y expuesta a heladas y deshielo	Estructura expuesta al mar o ataque sulfatos
Secciones delgadas o con menos de 25mm de recubrimiento de armaduras	0.45	0.4
Otras secciones	0.5	0.45

4.2.1.5 Cálculo del contenido de cemento

“Es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación agua/cemento.” (American Concrete Institute, 1995)

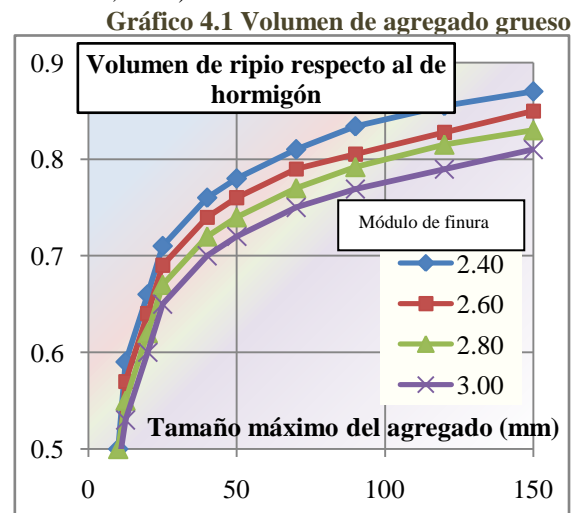
4.2.1.6. Estimación del contenido de agregado grueso “Los agregados

esencialmente similares en granulometría y en TMA producirán un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de agregado grueso, compactado con varilla, por volumen unitario de concreto como se indica en la siguiente tabla:” (American Concrete Institute, 1995)

Tabla 4.9 Volumen de agregado grueso vs. TMA y módulo de finura

Tomado de la tabla A1.5.3.6 (American Concrete Institute, 1995)

Volumen de agregado grueso seco y compactado con varilla por m ³ de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena y TMAs				
Módulo D(mm)	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.500	0.48	0.46	0.44
12.5	0.590	0.57	0.55	0.53
20	0.660	0.64	0.62	0.60
25	0.710	0.69	0.67	0.65
40	0.760	0.74	0.72	0.70
50	0.780	0.76	0.74	0.72
70	0.810	0.79	0.77	0.75
90	0.834	0.81	0.79	0.77
120	0.855	0.83	0.82	0.79
150	0.870	0.85	0.83	0.81



Al analizar esta tabla hemos podido establecer que el volumen a granel de ripio compactado obedece aproximadamente a la siguiente expresión:

$$C_{RIPIO} = 0.148 + 0.55 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{0.212 \cdot D}{MF - 2.4} \right) \quad \text{Ecuación 4.3 Volumen de ripio}$$

Siendo:

C_{RIPIO} : Volumen de ripio compactado a granel por volumen unitario de hormigón.

D: Tamaño máximo del agregado (mm) y

MF: Módulo de finura de la arena

Se puede observar que, para obtener una trabajabilidad similar, el volumen de agregado grueso para un volumen unitario de concreto depende de su TMA y del módulo de finura del agregado fino, para una misma cantidad de mezcla y usando materiales de la misma procedencia.

4.2.1.7. Estimación del contenido de agregado fino

“Una vez que se ha completado el paso 6, todos los ingredientes excepto la arena han sido estimados. Su cantidad se determina por la diferencia con el volumen restante para completar el volumen total de hormigón. Cualquiera de dos procedimientos pueden ser empleados: El método del peso o el método del volumen absoluto.”

(American Concrete Institute, 1995).

Para transformar de pesos a volúmenes de componentes debemos conocer la gravedad específica, y para transformar de volúmenes granel a volúmenes de componentes necesitamos, adicionalmente el peso unitario suelto o compacto según sea el caso. En el método del volumen absoluto de partículas, se resta de un volumen unitario de hormigón al aire atrapado, el agua neta y aditivos, el de cemento y el volumen de agregado grueso, siendo para todos los materiales sólidos este volumen, el de partículas, por lo tanto, la expresión sería:

$$V_{ARENA} = 1 - V_{AIRE} - A_n / 1000 - V_{CEM} - V_{RIPIO} \quad \text{Ecuación 4.4 Volumen de arena Siendo:}$$

V_{ARENA} : Volumen de partículas de arena para un volumen unitario de hormigón.

V_{AIRE} : Volumen de aire atrapado o incluido estimado para la mezcla.

A_n : Agua neta, según tabla 4.3 o ecuación 4.1.

V_{CEM} : Volumen de partículas del cemento.

V_{RIPIO} : Volumen de partículas del ripio.

Una vez que realizamos la transformación de pesos y volúmenes tenemos:

Ecuación 4.5 Volumen de arena con los datos conocidos

$$V_{ARENA} = 1 - V_{AIRE} - \frac{A_n}{1000} - \frac{A_n}{a/c \cdot gC \cdot 1000} + \frac{C_{RIPIO} \cdot P_{UCG}}{gG} \quad \text{Siendo:}$$

a/c : Relación agua cemento.

gC: Gravedad específica del cemento.

gG: Gravedad específica del agregado grueso.

C_{RIPIO} : Volumen de ripio compactado a granel por volumen unitario de hormigón de acuerdo a ecuación 4.3 o tabla 4.5.

P_{UCG} : Peso unitario compacto del agregado grueso.

Las unidades de gravedades específicas y pesos unitarios están referidas a la densidad del agua, por ejemplo T/m³, Kg/litro, g/cm³.

4.2.1.8. Ajustes por el contenido de humedad del agregado

“Debe considerarse la humedad de los agregados para pesarlos correctamente. Por lo general, los agregados están húmedos y a su peso en seco habrá que aumentar el porcentaje de agua que contengan, tanto la absorbida como la superficial. El agua de mezclado que se agrega a la mezcla debe reducirse en una cantidad igual a la de la humedad libre que contiene el agregado, esto es, humedad total menos absorción.”

(American Concrete Institute, 1995).

La corrección por humedad consiste en calcular nuevas cantidades de agua, agregado grueso y agregado fino según la humedad y absorción que tengan los agregados, así:

Ecuación 4.6 Agua por metro cúbico corregida por humedad.(Giraldo Bolivar, 2014)

$$A_m = A_n + P_{FINO} \cdot (b_{FINO} - Hum_{FINO}) + P_{GRUESO} \cdot (b_{GRUESO} - Hum_{GRUESO})$$

Ecuación 4.7 Finos por metro cúbico corregidos por humedad.(Giraldo Bolivar, 2014)

$$P_{h_{FINO}} = P_{FINO} \cdot (1 + Hum_{FINO})$$

Ecuación 4.8 Gruesos por metro cúbico corregidos por humedad.(Giraldo Bolivar, 2014)

$$Ph_{GRUESO} = P_{GRUESO} \cdot (1 + Hum_{GRUESO})$$

Siendo:

- Am: Agua de mezcla [litros/m³].
An: Agua neta según ecuación 4.1 o tabla 4.3 [litros/m³].
P_{FINO}: Peso calculado del agregado fino seco [Kg/m³].
P_{GRUESO}: Peso calculado del agregado grueso seco [Kg/m³].
Ph_{FINO}: Peso de agregado fino en su condición de humedad natural [Kg/m³].
Ph_{GRUESO}: Peso de agregado grueso en su condición de humedad natural [Kg/m³].
Ab_{FINO}: Absorción del agregado fino [Fracción, no porcentaje].
Ab_{GRUESO}: Absorción del agregado grueso.
Hum_{FINO}: Humedad natural del agregado fino.
Hum_{GRUESO}: Humedad natural del agregado grueso.

4.2.1.9 Ajustes en la mezcla de prueba

Se verifica las proporciones calculadas de la mezcla por medio de pruebas preparadas de acuerdo a la Norma ASTM C 192, el peso unitario y el rendimiento del concreto (ASTM C138) así como el contenido del aire (ASTM C138, C 173 o C231). Este hormigón obtenido en las mezclas de prueba debe ser inspeccionado para que cumpla con trabajabilidad, estar libre de segregación y que tenga propiedades adecuadas de acabado. El asentamiento de la mezcla de prueba se corrige aumentando o bajando 2 litros/m³ de agua por cada centímetro de asentamiento a incrementar o reducir. (American Concrete Institute, 1995).

4.2.2 Método de Weymouth y Fuller

4.2.2.1. Ámbito

Este método resulta recomendable cuando la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón es superior a los 300 Kg, la estructura no posee demasiado refuerzo, el tamaño máximo del agregado es menor a los 70 mm y los agregados son redondeados. (Giraldo Bolivar, 2014).

4.2.2.2 Distribución granulométrica.

Aunque al TMA se lo considera como el de la malla más pequeña que retiene el 15% de conjunto grueso+fino, para tanteo se determina al de la malla que retiene el 25% de agregado grueso solamente. (Universidad de Oviedo, España, 2005).

Determina que la granulometría óptima está en una distribución parabólica continua de la forma: $Y = \sqrt{d/D}$ Ecuación 4.8 (GiraldoBolivar, 2014) Siendo:

d: Cada uno de los tamaños considerados para distribución granulométrica.

D: Tamaño máximo del agregado (mismas unidades que d).

Y: Fracción del total de agregado que pasa por cada tamiz d.

4.2.2.3 Agua de mezcla.

Se establece la cantidad de agua por tipo de árido, TMA, y consistencia necesaria según la siguiente tabla:

Tabla 4.10 Cantidad de agua de mezcla

(García Andren, 2009) P4

TMA(mm)	Tipo de árido grueso	
	Rodado (l/m³)	Triturado(l/m³)
12.7	199	214
19.1	184	199
25.4	178	193
38.1	166	181
50.8	157	172
76.2	148	163
152.4	131	145

La tabla es válida para mezclas que cumplan con relación a/c= aprox. 0.57 y asiento en cono de Abrams=76 mm. (García Andren, 2009).

Se realizan las siguientes modificaciones:

- Por cada 25mm adicionales de asentamiento, incrementar 3% de agua.
- Para arenas artificiales con cantos vivos (polvo de piedra) incrementar 6.8 l/m³.
- Y si no se requiere trabajabilidad (ej. Pavimentos rígidos) reducir 3.6 l/m³.(Giraldo Bolivar, 2014)

Esto nos da una función aproximada:

Ecuación 4.9 Cantidad de agua neta

$$AguaNeta = \frac{3.582 \cdot \Delta + 276}{\sqrt[6]{D}} + 15 \cdot G_T + 6.8 \cdot F_T - 3.6 \cdot Seco \quad \text{Siendo:}$$

AguaNeta: Cantidad de agua sin considerar absorción (l/m^3)

Δ : Asentamiento (cm)

D: Tamaño máximo del agregado (mm)

Gt?: Es el agregado grueso triturado? (verdadero=1, falso=0)

Ft?: Es el agregado fino triturado? (verdadero=1, falso=0)

Seco?: Es hormigón de baja trabajabilidad? (verdadero=1, falso=0)

Nótese que no se considera el aire atrapado.

Luego determinamos, según la resistencia requerida, la relación Agua/cemento y el contenido de cemento, siempre mayor que $300Kg/m^3$.

4.2.2.4. Mezcla de agregados

Se dibujan las curvas granulométricas de los materiales disponibles y la parábola de Fuller. Estas se ajustan, para que su combinación sea la más parecida a la parábola de Fuller. Para esto existen métodos de tanteo y el método analítico de los módulos granulométricos.

Para hacer el ajuste por el método de los módulos granulométricos se plantea un sistema de tantas ecuaciones lineales como el número de agregados que haya que mezclar. Las constantes y variables involucradas serán:

- D_i : Los tamaños máximo del agregado para cada material a mezclar.
- m_i : Módulo granulométrico calculado de cada material, que puede calcularse como la suma de las fracciones retenidas acumuladas desde D_i a la abertura del tamiz N°100 en caso de que los tamaños contiguos estén en relación $1/2$ en abertura, o bien con la ecuación 2.2.
- V_i : Módulo granulométrico teórico para cada material. Es el módulo granulométrico que tendría una parábola de Fuller con tamaño máximo del agregado igual a D_i . Esto se calcula como el área sobre la parábola, estando las abscisas en escala logarítmica de base 2:

$$V_i = \frac{\ln \left(\frac{D_i}{d_i} \right) - \sqrt{\frac{d_i}{D_i}} - 2}{\ln 2} + \frac{1 - \sqrt{\frac{d_i}{D_i}}}{2} \quad \text{Ecuación 4.10} \quad \text{Siendo:}$$

d_i : Tamaño mínimo considerado, generalmente 0.149mm (malla N°100).

D_i : Tamaño máximo del agregado (mismas unidades que d).

V_i : Módulo granulométrico teórico de cada material.

➤ t_i : (Variables del sistema). El resultado, las fracciones en volumen de partículas de cada material que deberá ser mezclado.

- Como la curva de composición debe tener un módulo granulométrico similar al de la curva de referencia, se pueden plantear las siguientes ecuaciones: (Giraldo Bolivar, 2014)

$$t_1 + t_2 + \dots + t_i \dots + t_n = 1 \quad \text{Ecuación 4.11 Suma de las fracciones parciales}$$

$$V_2 = m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$V_3 = m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2 + m_3 \cdot t_3 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$V_n = m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2 + m_3 \cdot t_3 + \dots + m_i \cdot t_i \dots + m_n \cdot t_n \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Ecuación 4.12 Módulo granulométrico teórico del material. (Giraldo Bolivar, 2014)

Siendo V_i , m_i y t_i las constantes y variables antes mencionadas y n , el número de agregados a mezclar (mínimo 2).

Para el caso de tener 3 agregados, la solución al sistema será:

$$t_3 = \frac{V_3 - V_2}{m_3 - V_2} \quad \text{Ecuación 4.13 Fracción 3 para 3 materiales}$$

$$t_2 = \frac{V_2 - m_1 \cdot t_3}{m_2 - m_1} \quad \text{Ecuación 4.14 Fracción 2 para 3 materiales}$$

$$t_1 = 1 - t_3 - t_2 \quad \text{Ecuación 4.15 Fracción 1 para 3 materiales}$$

Para nuestro programa contemplamos el uso de hasta 4 agregados, por lo que la solución quedará en:

$$t_4 = \frac{V_4 - V_3}{m_4 - V_3} \quad \text{Ecuación 4.16 Fracción 4 para 4 materiales}$$

$$t_3 = \frac{V_3 - m_1 \cdot t_4 - V_2}{m_3 - V_2} \quad \text{Ecuación 4.17 Fracción 3 para 4 materiales}$$

$$t_2 = \frac{V_2 - m_1 \cdot t_4 - t_3 \cdot m_1}{m_2 - m_1} \quad \text{Ecuación 4.18 Fracción 2 para 4 materiales}$$

$$t_1 = 1 - t_4 - t_3 - t_2 \quad \text{Ecuación 4.19 Fracción 1 para 4 materiales}$$

A partir de las ecuaciones 4.13 a 4.19 se puede inducir que la solución generalizada para cualquier número de ecuaciones es:

$$t_i = \frac{V_i - V_{i-1} - \sum_{j=3}^i t_j}{m_i - V_{i-1}} \quad \text{Ecuación 4.20 Fracción 1 para material } i=3 \text{ al } n \text{ de } n \text{ materiales.}$$

Obsérvese que $t_{n+1}=0$ porque el número de materiales es n y no existe el material $n+1$.

$$t_2 = \frac{V_2 - m_1 \cdot \left(1 - \sum_{j=3}^n t_j\right)}{m_2 - m_1} \quad \text{Ecuación 4.21 Fracción 2 para } n \text{ materiales}$$

$$t_1 = 1 - \sum_{j=2}^n t_j \quad \text{Ecuación 4.22 Fracción 1 para } n \text{ materiales}$$

Con las fracciones t_1 al t_n ya se conoce las cantidades (en volumen relativo de partículas) que deberán ser mezcladas para obtener la granulometría más parecida a la parábola de Fuller con los materiales disponibles.

- Se prorratea el contenido total de materiales para obtener el volumen unitario de hormigón, considerando que, para obtener 1 m^3 de hormigón se requiere 1.025 m^3 de componentes debido a que el volumen de la pasta de cemento es ligeramente inferior a los de agua y cemento por separado. (Giraldo Bolivar, 2014).

4.2.3 Método de Bolomey

El método de Bolomey, que tiene su aplicación más importante en hormigones masivos, constituye un avance con respecto al de Fuller porque considera al cemento como un árido más. Así, la curva granulométrica continua queda como:

$$Y = a + (1-a) \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \quad \text{Ecuación 4.10 Curva granulométrica de Bolomey (Giraldo Bolivar, 2014)}$$

Siendo:

- d: Cada uno de los tamaños considerados para distribución granulométrica.
- D: Tamaño máximo del agregado (mismas unidades que d).
- Y: Fracción del total de agregado que pasa por cada tamiz d.
- a: Coeficiente de Bolomey, fracción del espacio no llenado con áridos.

Los valores de a se determinan según la consistencia y el tipo de áridos:

Tabla 4.11 Valores del coeficiente a para la curva de Bolomey.

(Giraldo Bolivar, 2014)

Δ	Consistencia	Valor de a (Porcentaje)		
		Rodado	Mixto	Angular
0-50	Seca-Plástica	10	11	12
50-100	Blanda	11	12	13
100-200	Fluida	12	13	14

Significa que podemos tener una función del tipo:

Ecuación 4.11 coeficiente de Bolomey

$$a = 0.01442 \cdot \ln \Delta + 0.04859 + 0.01 \cdot \text{GruesoTrit?} + 0.01 \cdot \text{FinoTrit?} \quad \text{Siendo:}$$

a: Coeficiente de Bolomey (en fracción, no porcentaje)

Δ: Asentamiento, mm

GruesoTrit?: Es agregado grueso triturado (verdadero=1, falso=0)

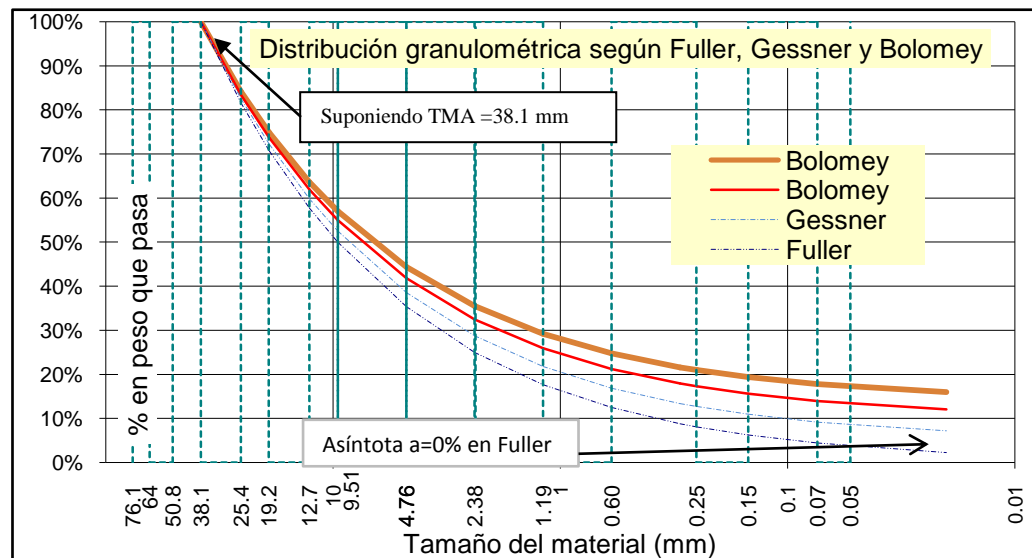
FinoTrit?: Es agregado fino triturado (verdadero=1, falso=0)

Las distribuciones granulométricas ideales según Fuller, Gessner y Bolomey, en las ecuaciones 4.8 y 4.10 y tabla 4.7 serían:

Tabla 4.12 Distribución granulométrica según Fuller, Gessner y Bolomey

pulg	mm	Fuller a=0	Gessner	Bolomey a=10%	Bolomey a=14%
1½"	38.1	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1"	25.4	81.6%	82.6%	83.5%	84.2%
¾"	19.2	71.0%	72.4%	73.9%	75.1%
½"	12.7	57.7%	59.8%	62.0%	63.7%
3/8"	9.51	50.0%	52.5%	55.0%	57.0%
N• 4	4.76	35.3%	38.6%	41.8%	44.4%
N• 8	2.38	25.0%	28.7%	32.5%	35.5%
N•16	1.19	17.7%	21.8%	25.9%	29.2%
N•30	0.595	12.5%	16.9%	21.2%	24.7%
Nº50	0.297	8.8%	13.4%	17.9%	21.6%
N•60	0.25	8.1%	12.7%	17.3%	21.0%
N•100	0.149	6.3%	10.9%	15.6%	19.4%
N•200	0.074	4.4%	9.2%	14.0%	17.8%
MF200	0.02	2.3%	7.2%	12.1%	16.0%

Gráfico 4.2 Distribución según Fuller, Gessner y Bolomey



“La superficie específica es muy importante desde el punto de vista de necesidades de agua de mojado de los áridos; esta, para gránulos redondeados es función del diámetro D de los mismos y de su gravedad específica G_s, y viene dada por la expresión.” (Universidad de Oviedo, 2005):

$$S_e = \frac{6}{G_s \cdot D} \quad \text{Ecuación 4.12 Superficie específica del agregado} \quad \text{Siendo}$$

S_e: Superficie específica (para partículas esféricas)

G_s: Gravedad específica

D: Tamaño de la partícula

“La cantidad de agua de mojado es directamente proporcional a la superficie específica de los granos y, por tanto está en razón inversa al diámetro de los mismos, supuesto granos de diámetro uniforme. Al no ser estos en la realidad de tamaño uniforme la cantidad de agua de mojado puede deducirse de la formula de Bolomey”

(Universidad de Oviedo, 2005):

$$A_M = \frac{130}{\sqrt[3]{D \cdot d_{\min}}} \quad \text{Ecuación 4.13 Agua de mojado} \quad \text{Siendo:}$$

A_M: Agua de mojado

D: Tamaño máximo del árido, en mm.

D_{min}: Tamaño menor del árido, en mm, siendo superior a 0.16 mm.

Si queremos determinar la cantidad total de agua que mojará con un espesor uniforme *esp*, a una mezcla de áridos cuya distribución de tamaños cumpla con la curva de Bolomey, y suponiendo que la esfericidad y gravedad específica sean constantes, encontraremos una expresión como la siguiente:

$$A_M = \frac{12 \cdot \Phi \cdot a \cdot \text{esp}}{\phi \cdot \sqrt{D}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{\min}}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right) \quad \text{Ecuación 4.14 Agua mojado, capa uniforme}$$

Siendo: A_M, D y d_{min} las mismas variables que en 4.13 y

V_T: Volumen total de agregado desde tamaño D a d_{min}.

Esp: Espesor de la capa de agua. (mismas unidades que D o d_{min})

a: Coeficiente de Bolomey (en fracción, no porcentaje).

Φ: Esfericidad de las partículas (≤ 1).

“Otro criterio para calcular la cantidad de agua es emplear el mismo método que en ACI 211.1, pero sin calcular el aire atrapado, igualmente que en el método de Fuller.”(Giraldo Bolivar, 2014).

“La cantidad de cemento se determina de acuerdo a la relación agua-cemento, tanto la necesaria para obtener la resistencia deseada, como la durabilidad requerida.. Se puede emplear las mismas expresiones que en los métodos anteriores.

También, al igual que en el método de Fuller, se considera que se requiere 1025 m³ de materiales para obtener 1 m³ de mezcla.” (Giraldo Bolivar, 2014).

“Para calcular las proporciones de los agregados respecto al volumen de agregados mas cemento, se utilizará el procedimiento por módulos de finura. En este procedimiento, el método de Bolomey, comienza por considerar al cemento como otro agregado, denominándolo agregado cero, de módulo de finura $m_0=0$.” (Giraldo Bolivar, 2014).

4.2.4 Método de Faury

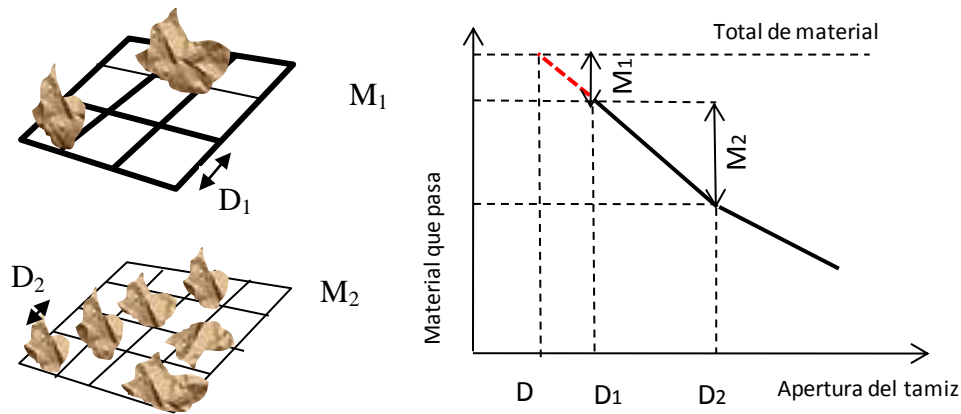
“Se fundamenta en principios granulométricos, parecidos a los de los métodos de Fuller y Bolomey, para determinar las cantidades de materiales que otorguen al hormigón características previstas. Es aplicable a todo tipo de hormigones, especialmente los destinados a prefabricados.” (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003).

Las consideraciones más importantes son:

4.2.4.1. Tamaño máximo del árido.

“Se determina como la extrapolación del tamaño del tamiz más grande que retiene agregado en relación al siguiente tamaño inferior a este.” (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003). Esto lo representamos en el siguiente gráfico:

Gráfico 4.3 Tamaño máximo del agregado, método de Faury



Ecuación 4.15 Tamaño máximo del agregado (Giraldo Bolivar, 2014)

$$D = D_1 + (D_1 - D_2) \cdot \frac{M_1}{M_2} \quad (\text{Por triángulos semejantes}). \text{ Siendo:}$$

D: Tamaño máximo calculado del agregado

D₁: Apertura del tamiz más grande que retiene material.

M₁: Masa retenida en el tamiz D₁.

D₂: Apertura del tamiz inmediatamente inferior al más grande que retiene material.

M₂: Masa retenida en el tamiz D₂ (parcial).

Nota: Se puede referir tanto a la masa, como al porcentaje, o volumen de partículas retenidos parciales. El tamaño D casi nunca será un tamaño de tamiz normalizado.

4.2.4.2. Efecto Pared

“Este método evalúa la capacidad del hormigón para ser colocado en la geometría real de un encofrado que contenga una distribución de armaduras según estas hayan sido diseñadas. Se pretende garantizar que el hormigón pueda pasar a través de las armaduras y llenar el encofrado sin formar grandes cavidades ni producir segregación debida a estancamiento del agregado grueso en zonas de espaciamiento reducido entre armaduras y/o moldes.

El efecto pared cuantifica la acción que una superficie dura (encofrado o varillas), ejerce sobre la porosidad de un material granular (hormigón) en la zona subyacente a ella. Para este objeto se definen dos parámetros denominados: Radio medio del encofrado y Radio medio de las armaduras.” (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003). Estos parámetros se definen con las siguientes expresiones, y asimismo conviene realizar una representación gráfica de sus conceptos:

Ecuación 4.16 Radio medio del encofrado (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003)

$$R = \frac{V_{elemento}}{S_{moldes_armaduras}}$$

Ecuación 4.17 radio medio de armaduras (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003)

$$r = \frac{S_{Entre_barras}}{P_{Entre_Barras}} \quad \text{Siendo:}$$

R: Radio medio de molde

$V_{elemento}$: Volumen de una parte del elemento: El volumen de la sección transversal de la zona analizada, generalmente la más congestionada de armaduras o con menor recubrimiento.

$S_{moldes_armaduras}$: Superficie de los encofrados y armaduras del elemento, en la zona analizada.

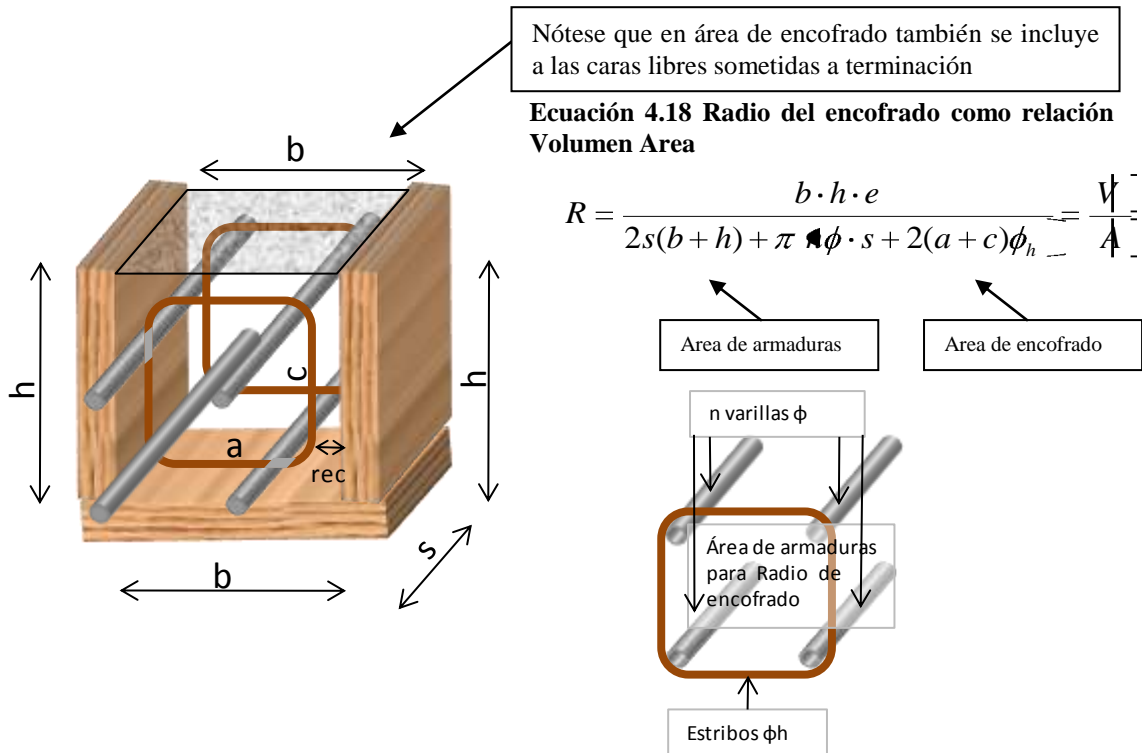
r: Radio medio de las armaduras.

S_{Entre_Barras} : Superficie libre entre las barras de armadura.

P_{Entre_Barras} : Perímetro correspondiente entre esas barras.

Una simplificación para el caso de elementos prismáticos regulares, con armaduras típicas la podemos observar en los siguientes gráficos.

Gráfico 4.4 Radio del encofrado



Para elementos prismáticos: **Ecuación 4.19 Radio del encofrado como relación Area Perímetro**

$$R = \frac{b \cdot h}{2b + 2h + \pi \cdot n \phi + 2a + 2c \phi_h / s} = \frac{\text{Area}}{\text{Perímetro}}$$

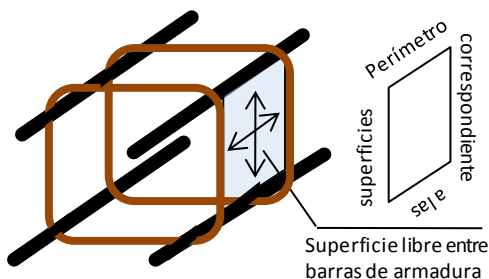


Gráfico 4.5 Radio de la armadura

Ecuación 4.20 Radio de la armadura

$$r = \frac{\text{Superficie libre entre barras de armadura}}{\text{Perímetro correspondiente a las superficies}}$$

Siendo para las expresiones 4.17 a 4.19:

R: Radio medio del encofrado.

r: Radio medio de la armadura.

b, h y s: Ancho, altura y espaciamiento de estribos en el elemento.

a y c: Dimensiones de los estribos.

n: Número de varillas longitudinales.

ϕ : Diámetro de varillas longitudinales.

ϕ_h : Diámetro de estribos.

“La superficie de encofrados y armaduras del elemento corresponde a la de los moldes que limitan el elemento. Si este presenta una cara libre sometida a terminación superficial, esta también debe ser considerada. Igualmente, la superficie de armaduras corresponde a la superficie externa de las barras de armadura embebidas en el elemento. Las barras consideradas para el cálculo del radio medio de la armadura son aquellas más críticas, a través de las cuales debe atravesar el hormigón y la superficie libre es la que atraviesa el hormigón. De manera similar, el perímetro a considerar es el que rodea dicha superficie.” (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003). Las expresiones para determinar los límites razonables del efecto pared son:

Tabla 4.13 Expresiones de Faury para tamaño máximo y efecto pared.

(Universidad Católica del Norte, Chile, 2003).

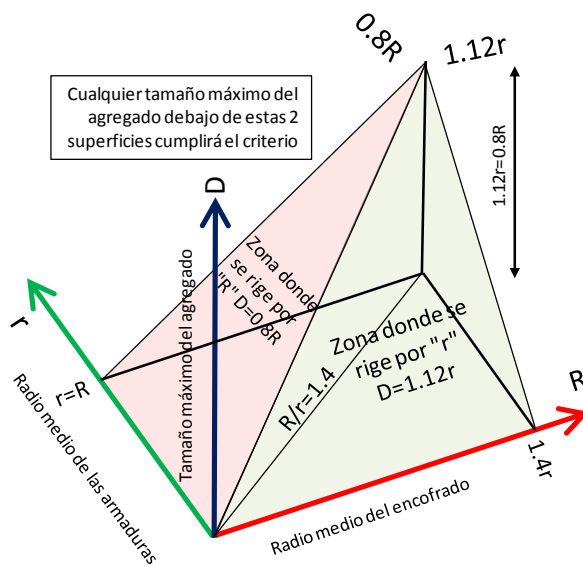
Tipo de árido	R / r	Tam. Máximo D	Efecto Pared $D_{Disponible}/R$	Comentarios
Rodado	1.4	< 1.12 r	D / 1.45 r	Se rige por r
	≤ 1.4	$\leq 0.80 R$	T / R	Se rige por R
Triturado	1.2	$\leq 0.96 r$	D / 1.25 r	Menor tam. Máx.
	≤ 1.2	$\leq 0.90 R$	T / R	cuando triturado

“Se recomienda mantener el valor D/R entre $0.8 \leq D/R \leq 1.0$.” (Giraldo Bolivar, 2014).

Obsérvese que en este cuadro, el tamaño máximo es un requisito, a diferencia de la ecuación 4.6 que considera el material real disponible, si el material disponible tiene D menor o igual que en la tercera columna de la tabla, se procede a calcular el efecto pared con las expresiones de la cuarta columna. Un valor alto de R/r significa que las armaduras están congestionadas entre sí, y por lo tanto el valor del Radio medio de la armadura mandará en el cálculo del efecto pared (D/R).

Asimismo, un valor bajo de R/r , significa que el Radio medio entre encofrados y varillas o entre encofrados es muy bajo y se tiene mucho efecto pared; este inconveniente es solucionable bien sea, reduciendo el tamaño máximo del agregado o aumentando el recubrimiento de las armaduras. Destacamos que el concepto de Radio medio es similar al concepto de radio hidráulico, y la “rugosidad” del hormigón depende enormemente de si sus agregados son rodados o triturados. Como resulta difícil la interpretación de la tabla 4.8, hemos preparado su interpretación gráfica.

Gráfico 4.6 Tamaño máximo del árido para agregados rodados



El mismo criterio se aplicará para agregados triturados, siendo en ese caso, la cúspide de la pirámide el tamaño $D=0.96r=0.90R$, la abscisa en radio medio del encofrado $1.25r$ y la ordenada en radio medio de las armaduras $r=R$.

Hemos elaborado una tabla para calcular el efecto pared, en la cual asumimos datos de la geometría y armaduras de un elemento.

Tabla 4.14 Ejemplo del cálculo de efecto pared para vigas y columnas

Ejemplo para una viga		b= 300mm		h= 400mm		rec= 40mm				
Ripio triturado?	D	Nºvarillas	f longit	f estribo	espacio	R	r	R/r	Dcalc	P debe ser<1
Gt? [V/F]	disponible	Longit	mm	mm	s, mm	mm	mm		mm	
FALSO	19.1	6	14	8	100	61.1	22.49	2.716	25.19	0.586
VERDADERO	19.1	6	16	10	60	57.8	15.67	3.691	15.04	0.975
FALSO	19.1	8	14	10	150	56.4	26.64	2.119	29.83	0.495
VERDADERO	19.1	8	16	12	80	53.4	18.59	2.871	17.84	0.822
FALSO	25.4	6	16	12	70	55.9	16.99	3.289	19.02	1.031
VERDADERO	25.4	6	16	10	50	57.8	13.55	4.269	13.01	1.500
FALSO	30.0	6	14	10	80	58.9	19.29	3.051	21.61	1.072
FALSO	30.0	6	14	10	150	58.9	26.64	2.210	29.83	0.777
VERDADERO	12.7	12	12	10	80	53.9	15.96	3.375	15.32	0.637
VERDADERO	12.7	12	16	10	50	50.5	11.67	4.328	11.20	0.871
FALSO	15.8	12	14	8	60	53.9	13.78	3.907	15.44	0.791
FALSO	15.8	12	18	10	80	49.0	15.35	3.191	17.19	0.710
VERDADERO	25.4	12	12	8	80	55.7	16.36	3.405	15.71	1.242
VERDADERO	25.4	6	12	10	100	59.9	22.25	2.694	21.36	0.913
VERDADERO	30.0	10	14	12	120	52.5	18.44	2.845	17.70	1.302
VERDADERO	30.0	8	14	12	180	54.6	28.	1.948	26.88	0.857

Observamos que la variable más importante es el tamaño máximo del agregado, seguido por el espaciamiento entre estribos y el número de varillas longitudinales. Todos los criterios han sido cumplidos con respecto a ACI 318-08 acápite 7.6, acerca de límites para el espaciamiento del refuerzo. Es deseable tener la distribución real de las varillas, obtenida de los planos estructurales, para poder calcular el efecto pared para las conexiones o vanos más congestionados y de esta manera decidir el tamaño máximo del agregado más conveniente, aunque se utilice otro método de dosificación.

4.2.4.3. Distribución granulométrica

En el método de Faury, la distribución granulométrica está formada por dos rectas cuando el eje de las abscisas representa la raíz quinta del tamaño de las aberturas de los tamices.

“Es un diagrama bilineal en raíz quinta de la apertura del tamiz, para lo cual la fracción granulométrica de tamaño inferior a D/2 (tamaño máximo del agregado) debe cumplir:” (Universidade da Coruña, 2004)

Ecuación 4.21 Fracción de los áridos para tamaños entre d_0 y $D/2$ (Universidade da Coruña, 2004)

$$P_{d_0}^{D/2} = \frac{100}{\sqrt[5]{D/2} - \sqrt[5]{d_0}} \cdot \left(\sqrt[5]{d} - \sqrt[5]{d_0} \right)$$

Ecuación 4.22 Fracción de los áridos para tamaños entre $D/2$ y D (Universidade da Coruña, 2004)

$$P_{D/2}^D = \frac{100}{\sqrt[5]{D} - \sqrt[5]{D/2}} \cdot \left(\sqrt[5]{d} - \sqrt[5]{D/2} \right)$$

Siendo:

d : Tamaño de cada fracción

P : Porcentaje que pasa por cada tamiz d

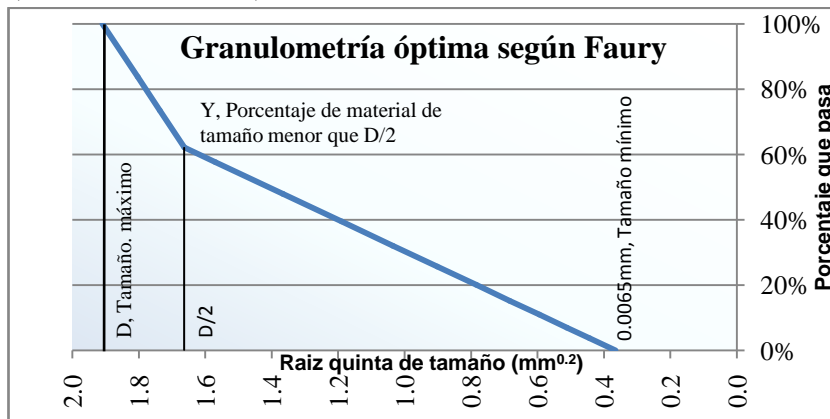
D : Tamaño máximo del agregado

d_0 : Tamaño más pequeño de material, considerado usualmente en 0.0065 mm (Esto significa que el cemento es un árido más en la curva).

La forma del gráfico de granulometría será:

Gráfico 4.7 Distribución granulométrica método de Faury.

(Giraldo Bolivar, 2014)



El valor de Y se rige por la siguiente ecuación:

Ecuación 4.23 porcentaje Y de Faury. (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003), (Giraldo Bolivar, 2014)

$$Y = A + 17.8 \cdot \sqrt[5]{D} + \frac{B \cdot P}{0.8 - 0.75 \cdot P} \quad \text{Siendo:}$$

Y , Porcentaje de material más pequeño que la mitad del tamaño máximo

A , Porcentaje de este material debido a la consistencia y al tipo de agregados, rodados o triturados, indicado en tabla 4.10↓.

D , Tamaño máximo del agregado, según describimos en 4.2.4.1↑

B , Coeficiente que depende del tipo de compactación. Su valor es 1.5 para compactación normal y 1.0 para compactación potente.

P , Valor del efecto pared, según descrito en 4.2.4.2↑

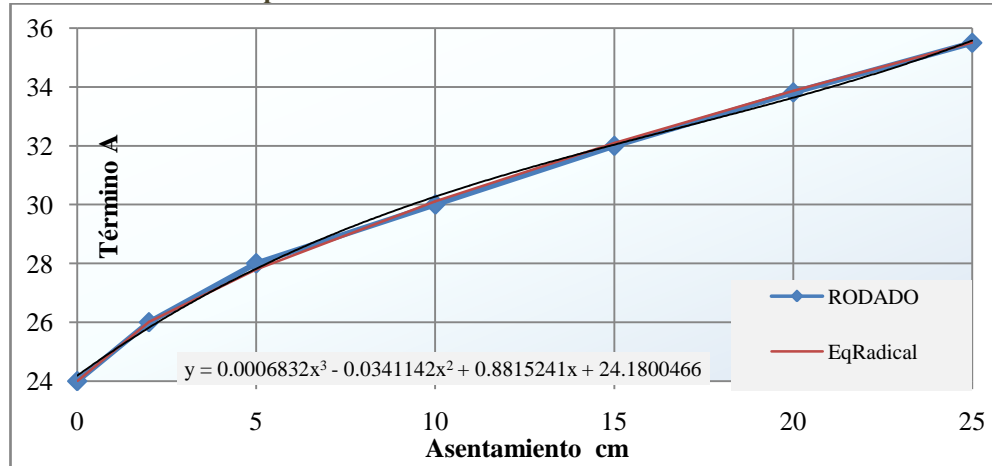
Los valores de A se describen en la siguiente tabla

Tabla 4.15 Valores del término A. (Giraldo Bolivar, 2014), tabla 12 P39

Término A de Faury	Asentamiento (mm)	Valores de A según el tipo de agregado		
		Aluvial o rodado	Ripio triturado y arena natural	Triturados o angulares
Consistencia muy fluida, autocompactate	>150	≥32	≥34	≥38
Consistencia fluida, con poca compactación	100 - 150	30 - 32	32 - 34	36 - 38
Consistencia blanda, compactación media	50 - 100	28 - 30	30 - 32	34 - 36
Consistencia seca, alta compactación	20 - 50	26 - 28	28 - 30	32 - 34
Consistencia muy seca, compactación potente	5 - 20	24 - 26	26 - 28	30 - 32
Consistencia "tierra húmeda", compactación muy potente	0	22 - 24	24 - 26	28 - 30
Compactación excepcionalmente potente	0	≥22	≥24	≥28

Observamos que los valores respecto agregados rodados aumentan en 2 para materiales mixtos (Ripio triturado y arena natural) y en 6 para ripio y arena triturados, de esta forma, para los materiales rodados podemos encontrar una función polinómica o radical a partir del siguiente gráfico:

Gráfico 4.8 término A para materiales rodados



La ecuación polinómica es la indicada en el gráfico y la radical es de la forma:

Ecuación 4.24 Radical para el término A

$$A = c + \frac{f\sqrt{\Delta}}{g}$$

Siendo: c, f y g término, radical y divisor respectivamente y Δ , asentamiento (cm.).

Por tanteo hemos hallado los valores más adecuados para c, f y g

g en la tabla:

Tabla 4.16 análisis del término A para materiales rodados.

Obtención del término A de Faury				24	c
				1.45	f
				0.8	g
Δ cm	RODADO	PolinoSimp	diferencia	EqRadical	diferencia
25	35.5	37.2525	0.0494	35.5082	0.0002
20	33.814	33.89	0.0022	33.8667	0.0016
15	32	31.8675	-0.0041	32.0911	0.0028
10	30	30.21	0.0070	30.1174	0.0039
5	28	27.9425	-0.0021	27.7928	-0.0074
2	26	25.8836	-0.0045	26.0161	0.0006
0	24	24.09	0.0037	24.0000	0.0000
"-2"	21.8859754	21.8868	0.0000		

De lo cual desprendemos que el mejor ajuste se da con una expresión radical, de esta manera, la ecuación para Y puede escribirse:

Ecuación 4.25 Porcentaje Y generalizado

$$Y = 24 + 1.25 \cdot \Delta^{0.69} + 2 \cdot Gt? + 4 \cdot Ft? + 17.8 \cdot \sqrt[5]{D} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot?}{0.8 - 0.75 \cdot P}$$

Siendo:

- Y, Porcentaje de material más pequeño que la mitad del tamaño máximo
- Δ, Asentamiento, cm.
- GT?: Es el agregado grueso triturado? (verdadero=1, falso=0)
- FT?: Es el agregado fino triturado? (verdadero=1, falso=0)
- D, Tamaño máximo del agregado, mm. Según describimos en 4.2.4.1↑
- VPot?, Es la compactación potente? (verdadero=1, falso=0)
- P, Valor del efecto pared, según descrito en 4.2.4.2↑

Obsérvese que a medida que Y se reduce, el hormigón tendrá más cantidad de agregados gruesos entre D y D/2, lo que representa un menor consumo de pasta, lo que conseguiremos en hormigón masivo con poco asentamiento, agregados rodados, armaduras poco congestionadas y compactación potente.

4.2.4.4. Volumen de huecos

Una vez determinada la granulometría total (áridos+cemento) que nos brindará la máxima compacidad, determinamos el volumen de huecos, el cual nos dará el contenido de agua neta de amasado.

“El volumen de huecos en el hormigón depende de: la consistencia de la mezcla, la naturaleza de los agregados, la potencia de compactación, el tamaño máximo del agregado y el efecto pared. Según Faury se puede calcular con la siguiente expresión:” (Giraldo Bolivar, 2014)

$$V_H = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{B}{500 \cdot \left(\frac{8}{P} - 0.75\right)}$$

Ecuación 4.26 Volumen de huecos. (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003) Siendo:

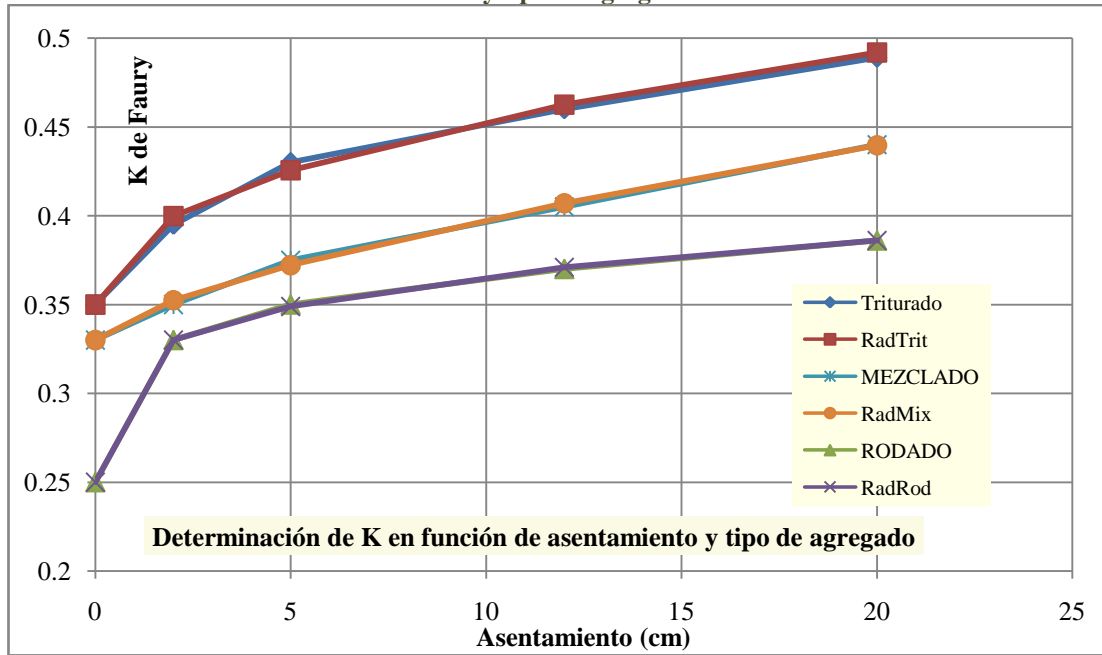
- Vh, Volumen de huecos, fracción respecto al total.
- K, Coeficiente que depende del asentamiento, asociado a la energía de compactación, y que también depende de la naturaleza de los áridos según tabla 4.12↓.
- D, Tamaño máximo del agregado, mm. Según describimos en 4.2.4.1↑
- B, Coeficiente que depende del tipo de compactación. ↑
- P, Valor del efecto pared, según descrito en 4.2.4.2↑.

Tabla 4.17 valores de K en el método de Faury.
(Giraldo Bolivar, 2014) Tabla 13, P42

Condiciones de la colocación del hormigón en obra	Asentamiento (mm)	Aluvial o rodado	Ripio triturado y arena natural	Triturados o angulares
Consistencia muy fluida, autocompactate	>120	≥0.37	≥0.405	≥0.45
Consistencia blanda, compactación media	50 - 120	0.35 - 0.37	0.375 - 0.405	0.43 - 0.46
Consistencia seca, alta compactación	20 - 50	0.33 - 0.35	0.35 - 0.385	0.40 - 0.43
Consistencia "tierra húmeda", compactación muy potente	0 - 20	0.25 - 0.33	0.33 - 0.35	0.35 - 0.37
Consistencia extra seca, compactación excepcionalmente potente	0	≤0.25	≤0.33	≤0.35

Observamos que la clasificación de consistencia con respecto a asentamiento no coincide con la de la tabla 4.10, adicionalmente no hay una correlación tan obvia entre agregados rodados, mixtos y triturados, por lo cual los analizamos por separado de acuerdo al siguiente gráfico:

Gráfico 4.9 K en función de asentamiento y tipo de agregado



Nuevamente vemos que el mejor ajuste se da con funciones radicales del tipo:

Ecuación 4.27. K de Faury
$$K = h + \frac{i\sqrt{\Delta}}{j}$$
 Siendo:

K, Término para el volumen de huecos, debido a las condiciones de fluidez y compactación

Δ , Asentamiento, cm.

h, i y j Valores de mejor ajuste de la ecuación según tabla 4.13

Tabla 4.18 Análisis del término K de Faury

Δ cm	0.25 h 4.35 i 14.64 j			0.33 h 1.45 i 72 j			0.35 h 2.2 i 27.5 j		
	RODADO	RadRod	Difer	MEZCLADO	RadMix	LogMix	Triturado	RadTrit	LogTrit
20	0.386	0.3860	0.0000	0.44	0.4396	-0.0008	0.489	0.4919	0.0060
12	0.37	0.3709	0.0025	0.405	0.4071	0.0051	0.46	0.4625	0.0055
5	0.35	0.3489	-0.0032	0.375	0.3721	-0.0076	0.43	0.4256	-0.0103
2	0.33	0.3301	0.0003	0.35	0.3524	0.0069	0.395	0.3998	0.0122
0	0.25	0.2500	0.0000	0.33	0.3300	0.0000	0.35	0.3500	0.0000

La deducción de una ecuación generalizada para volumen de huecos se complica, por lo que resulta conveniente expresar los valores de h , i y j según

Ecuación 4.28 Valor de h $h=0.25+0.08*Gt?* | Ft?-1 | +0.1*Gt?*Ft?$

Ecuación 4.29 Valor de i $i=4.35-2.90*Gt?* | Ft?-1 | -2.15*Gt?*Ft?$

Ecuación 4.30 Valor de j $j=14.64+57.36*Gt?* | Ft?-1 | +12.86*Gt?*Ft?$

Siendo:

Valor absoluto

h , i y j , Valores para la ecuación 4.14↑

GT?: Es el agregado grueso triturado? (verdadero=1, falso=0)

FT?: Es el agregado fino triturado? (verdadero=1, falso=0)

Con las cuales cumplimos, con un error máximo de 2 l/m³, para agregado de tamaño máximo 3/4". Sin embargo no hemos previsto el caso de que la arena sea triturada y el ripio rodado. Así nos queda la ecuación del volumen de huecos en:

Ecuación 4.31 Volumen de huecos, expresión general

$$V_h = An = \left(h + \frac{i\sqrt{\Delta}}{j} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot?}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

En realidad es preferible usar una ecuación para cada caso, resultando en:

Ecuación 4.32 Volumen de huecos para agregado grueso triturado y fino triturado

$$V_h = An = \left(0.35 + \frac{\Delta^{0.455}}{27.5} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot?}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

Ecuación 4.33 Volumen de huecos para agregado grueso triturado y fino rodado (mixto)

$$V_h = An = \left(0.33 + \frac{\Delta^{0.69}}{72} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot?}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

Ecuación 4.34 Volumen de huecos para agregado grueso rodado y fino también rodado

$$V_h = An = \left(0.25 + \frac{\Delta^{0.23}}{14.64} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot?}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

Siendo para las ecuaciones 4.30 a 4.34:

- Vh, Volumen de huecos, fracción respecto al total.
- D, Tamaño máximo del agregado, mm. Según describimos en 4.2.4.1↑
- Δ , Asentamiento en cm.
- P, Valor del efecto pared, según descrito en 4.2.4.2↑.
- VPot?, Es la energía de compactación potente? (1=verdadero, 0=falso).

4.2.4.5. Determinación de las cantidades de materiales

“Aunque al cemento se le considera como un árido más, en realidad su cantidad debe ser determinada de acuerdo al volumen de huecos descrito en el párrafo anterior y a la relación agua-cemento. Para este objeto puede elegirse el mismo criterio señalado al respecto en el método ACI ↑.” (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003).

“Para la mezcla de áridos se debe establecer proporciones para cada uno de ellos, de manera tal que la curva granulométrica total obtenida mezclándolos en dichas proporciones logre el mejor ajuste posible a la curva ideal.” (Universidad Católica del Norte, Chile, 2003).

“Existe un método analítico para determinar las proporciones de los materiales que se ajusten mejor a la curva de Faury, este es el método de los índices ponderales. Por definición el índice ponderal de una mezcla de agregados es igual a la suma de los productos obtenidos multiplicando la proporción en volumen absoluto de cada tamaño por el índice ponderal correspondiente. El objetivo es resolver un sistema de ecuaciones en el cual existe una incógnita por cada agregado a utilizar que es la proporción que este ocupa en el volumen total de agregados más cemento.” (Giraldo Bolivar, 2014). No vamos a detallar este método de los índices ponderales debido a que, es más fácil variar el contenido de cada material usando controles de desplazamiento en el programa y observar gráficamente los resultados en una tabla hasta lograr una curva granulométrica similar a la propuesta.

Con todos los conceptos estudiados en los cuatro métodos descritos en 4.2, tenemos las bases teóricas para dosificar hormigón, adicionalmente hemos estudiado la experiencia práctica de disertaciones de grado anteriores que veremos a continuación.

4.3.Comparación de dosificaciones anteriores realizadas en el laboratorio.

Las hemos tomado como referencia para realizar nuestras dosificaciones a los resultados obtenidos en las siguientes disertaciones de grado previas realizadas en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y que consideramos que constituyen estudios de excelente calidad.

4.3.1 Influencia del Material Fino que Pasa por el Tamiz N°200 en la Resistencia a la Compresión del Hormigón.

Este estudio, realizado por Roberto Gabriel Unda Duque, nos brinda las pautas para poder tener una metodología de trabajo, rangos de comparación entre la relación agua-cemento usando cemento tipo IE vs. tipo IP, y cuantía de material fino con respecto al material total que pasa el tamiz N°4 a ser incorporado en las mezclas.

En el anexo de diseño de hormigones de esa disertación se menciona que el procedimiento de dosificación fue el ACI 211.1-77. “Cabe indicar que la cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200 se calculó de la siguiente manera: Suponiendo que para el diseño final y para una resistencia esperada de 140 Kg/cm² se necesitan 700 Kg/m³ de arena; en el diseño para la misma resistencia y con el 0% de material fino que pasa el tamiz N°200 se usaron los 700 Kg/m³ de arena; sin embargo, en el diseño para la misma resistencia y con el 5% de material fino que pasa el Tamiz N°200 se usaron 35 Kg/m³ de este material y 665 Kg/m³ de arena. Por lo tanto, los

porcentajes de material fino que pasa el tamiz N°200 estan en función de la cantidad total de agregado fino que se necesita para obtener una determinada resistencia.”

(Unda Duque, 1986, pág. 111)

En la siguiente tabla se resumen las dosificaciones empleadas:

Tabla 4.19 Dosificaciones en disertación de Gabriel Unda Duque

(Unda Duque, 1987)

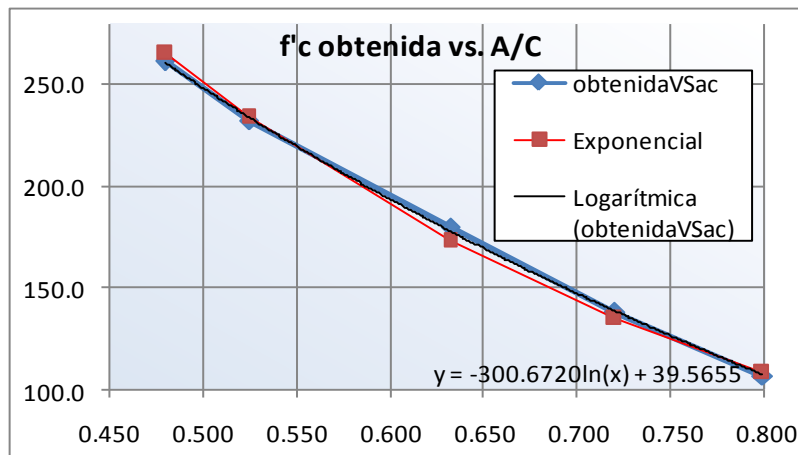
f'c diseño Kg/cm ²	Mat. %	Acua Kg/m ³	Ripio Kg/m ³	Cemento Kg/m ³	Arena Kg/m ³	Aditivo cm ³	Finos Kg/m ³	A/C	f'c Kg/cm ²
140	0.0%	175	1074	219	775		0.00	0.799	107
	1.0%	175	1071	219	775		7.78	0.799	107
	2.0%	175	1071	219	775		15.60	0.799	107
	3.0%	175	1094	253	730		23.67	0.692	150
	5.0%	175	1055	238	737		37.55	0.735	132
	7.5%	175	1075	246	732		57.90	0.711	142
	10.0%	175	1062	246	727		80.20	0.711	142
180	0.0%	175	1045	243	737		0.00	0.720	138
	1.0%	175	1064	236	770		7.73	0.742	130
	2.0%	175	1064	236	770		15.56	0.742	130
	3.0%	175	1079	273	720		23.22	0.641	173
	5.0%	175	1064	236	770		41.25	0.742	130
	7.5%	175	1060	254	736		58.20	0.689	152
	10.0%	175	1056	272	708		78.10	0.643	172
210	0.0%	175	1031	277	703		0.00	0.632	178
	1.0%	175	1054	256	764		7.67	0.684	154
	2.0%	175	1054	256	764		15.34	0.684	154
	3.0%	175	1097	257	811		26.16	0.681	155
	5.0%	175	1060	268	747		40.05	0.653	168
	7.5%	175	1049	275	703		58.13	0.636	176
	10.0%	175	1049	295	700		77.20	0.593	197
210 con Conbeton	0.0%	175	1031	277	703	997.2	0.00	0.632	195
	1.0%								
	2.0%								
	3.0%								
	5.0%	175	1060	268	747	964.8	37.35	0.653	184
	7.5%	175	1049	275	703	990.0	52.73	0.636	193
	10.0%	175	1049	295	700	1062.0	77.20	0.593	216
280	0.0%	175	1020	334	685		0.00	0.524	234
	1.0%	175	1020	303	748		7.50	0.578	205
	2.0%	175	1076	305	794		15.92	0.574	207
	3.0%	175	1033	303	748		23.91	0.578	205
	5.0%	175	1033	317	726		38.90	0.552	218
	7.5%	175	1033	303	748		61.88	0.578	205
	10.0%	175	1027	346	681		75.10	0.506	245
350	0.0%	175	1008	365	729		0.00	0.479	261
	1.0%	175	1003	365	727		7.30	0.479	261
	2.0%	175	1003	365	727		14.58	0.479	261
	3.0%								
	5.0%	175	1011	405	679		35.85	0.432	292
	7.5%	175	1002	423	645		53.33	0.414	305
	10.0%	175	998	419	649		71.60	0.418	302

En las tablas de dosificaciones y resultados, estaban claramente definidas las cantidades de materiales usados, está indicada el agua neta y la cantidad de cemento y la resistencia de diseño, por lo cual pudimos ajustar la curva de resistencia obtenida en el hormigón patrón (% MF200=0) a una expresión similar a la fórmula de Abrams para relacionar $f'c$ con relación A/C:

Tabla 4.20 Resistencia para el hormigón con 0% de finos

Diseño	A/C	Obtenida	Exponen.	Logarít.	Obs.
350	0.479	261.2	265.2	260.6	
280	0.524	231.9	234.1	234.0	
210	0.632	202.8	172.9	177.7	Aditivo
210	0.632	180.2	172.9	177.7	
180	0.720	137.6	134.9	138.3	
140	0.799	106.5	108.1	107.0	

Gráfico 4.10 Resistencia para el hormigón con 0% de finos (hormigón patrón)



La fórmula de Abrams es de tipo exponencial del tipo:

$$f'c_{TEORICA} = \frac{K_1}{K_2^{A/C}} \quad \text{Ecuación 4.35} \quad \text{Siendo:}$$

$f'c$ teórica = Resistencia esperada a la compresión en Kg/cm².

K_1 = Factor de proporcionalidad, aproximación en 1020 Kg/cm².

K_2 = Base del divisor, aproximación en 16.6 (adimensional).

A/C = Relación agua cemento.

Para este caso se obtiene un mejor ajuste con una ecuación logarítmica del tipo:

$$f'c_{TEORICA} = C - D \cdot \ln(A/C) \quad \text{Ecuación 4.36} \quad \text{Siendo:}$$

C : Término, mejor ajuste en 39.6 Kg/cm²

D : Factor, mejor ajuste en 300.7 Kg/cm²

A/C: Relación agua-cemento

En las mezclas, para otros valores de porcentaje de MF200, varía la relación agua-cemento, ya que para realizar las reestimaciones se aumentaba la cantidad de cemento. Nótese que la cantidad de agua se mantuvo fija, siendo el cemento el componente que se varió para obtener la consistencia deseada. En las siguientes tablas mostramos el resumen de resistencias y pesos unitarios obtenidos. Las celdas tachadas corresponden a cilindros que no se tomaron en cuenta para los cálculos.

Tabla 4.21 Resistencia y peso unitario para f'c diseño=140Kg/cm²

Tomado de (Unda Duque, 1987, págs. 43-49).

f'c diseño		140 Kg/cm ²		a= 1.1		f'c Kg/cm ² P.U. Kg/m ³									
%mat fino		0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%	
Cilindro	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	
1	144.6	2350	94.9	2409	122.5	2358	114.0	2310	139.2	2330	187.6	2363	129.8	2289	
2	132.5	2358	100.1	2366	89.0	2402	148.9	2331	144.2	2314	187.8	2335	132.7	2295	
3	141.1	2337	99.0	2366	121.0	2356	135.2	2350	138.5	2322	200.2	2350	143.4	2286	
4	132.7	2322	94.6	2360	125.9	2436	179.7	2333	143.8	2309	175.6	2304	177.6	2297	
5	132.7	2337	115.6	2380	127.9	2360	208.1	2319	134.5	2340	189.5	2328	132.4	2295	
6	140.3	2363	106.4	2394	116.7	2395	136.5	2351	138.2	2233	177.2	2325			
7	136.2	2376	95.0	2409	126.7	2355	139.2	2332	138.8	2331	201.3	2344			
8	114.2	2322	89.3	2381	108.8	2379	146.9	2312	118.2	2273	197.2	2362			
9	168.1	2356	95.6	2378	123.4	2388	153.2	2336	143.3	2331	199.1	2375			
10	76.5	2322	96.2	2395	104.0	2407	136.5	2337	144.0	2305	191.5	2349			
Promedio	137.2	2344	98.7	2384	121.6	2384	147.0	2331	140.5	2309	190.7	2344	134.6	2292	
Desv. Std.	4.89	19.18	7.41	17.50	6.28	27.07	14.79	14.04	3.41	32.75	9.09	21.09	6.03	4.67	
%Desv. Std.	3.6%	0.8%	7.5%	0.7%	5.2%	1.1%	10.1%	0.6%	2.4%	1.4%	4.8%	0.9%	4.5%	0.2%	
f'c carácter.	131.8		90.5		114.7		130.8		136.7		180.7		127.9		

Tabla 4.22 Resistencia y peso unitario para f'c diseño=180Kg/cm²

Tomado de (Unda Duque, 1987, págs. 51-57).

f'c diseño		180 Kg/cm ²		a= 1.1		f'c Kg/cm ² P.U. Kg/m ³									
%mat fino		0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%	
Cilindro	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	
1	153.1	2304	108.0	2386	122.5	2363	134.5	2341	126.9	2342	193.3	2337	169.7	2312	
2	166.9	2296	111.0	2381	124.8	2385	93.0	2274	125.6	2295	178.9	2319	177.1	2282	
3	155.1	2317	132.2	2344	142.9	2376	135.6	2278	143.6	2277	213.7	2311	185.3	2285	
4	132.9	2282	103.5	2399	131.8	2357	147.4	2304	147.6	2330	152.5	2339	197.7	2296	
5	147.8	2281	109.5	2396	129.5	2360	138.2	2323	121.2	2328	174.1	2302	163.2	2293	
6	144.5	2318	142.9	2403	140.9	2370	151.5	2289	143.8	2334	184.1	2328			
7	153.1	2285	89.3	2299	131.8	2386	179.7	2312	140.7	2329	181.9	2306			
8	161.0	2285	122.4	2377	131.5	2352	169.1	2295			201.0	2353			
9	134.8	2302	125.7	2376	129.3	2354	124.7	2293	123.1	2339	175.0	2302			
10	167.9	2279	134.5	2395	135.4	2335	151.2	2315	127.6	2313	176.7	2324			
Promedio	156.2	2295	118.3	2376	132.0	2364	144.0	2302	133.3	2321	183.1	2322	178.6	2294	
Desv. Std.	8.46	14.78	11.86	31.79	6.37	15.83	13.71	20.80	10.36	21.80	9.50	17.32	13.49	11.76	
%Desv. Std.	5.4%	0.6%	10.0%	1.3%	4.8%	0.7%	9.5%	0.9%	7.8%	0.9%	5.2%	0.7%	7.6%	0.5%	
f'c carácter.	146.9		105.3		125.0		128.9		122.0		172.6		163.7		

Tabla 4.23 Resistencia y peso unitario para f'c diseño=210Kg/cm²

Tomado de (Unda Duque, 1987, págs. 59-65).

f'c diseño	210 Kg/cm ²		a= 1.1		f'c Kg/cm ²		P.U. Kg/m ³		f'c Kg/cm ²		P.U. Kg/m ³		f'c Kg/cm ²		P.U. Kg/m ³	
%mat fino	0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%			
Cilindro	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.
1	226.1	2256	152.3		178.4		242.9		182.5		163.2		206.7			
2	204.8	2229	159.5		158.4		257.7		156.2		168.4		220.8			
3	200.1	2255	148.0		176.7		154.9		150.7		162.8		204.8			
4	224.7	2261	151.0		173.2		237.1		182.4		158.4		201.0			
5	193.1	2262	141.8		159.5		158.6		174.5		158.2		222.1			
6	214.0	2253	142.7		121.8		239.5		162.1		168.6					
7	209.4	2259	153.8		158.8		240.3		157.9		172.8					
8	186.2	2265	142.2		173.0		239.6		167.1		169.9					
9	182.8	2242	144.5		118.4		253.7		171.2		149.4					
10	188.7	2230	152.3		154.7		258.8		168.2		189.5					
Promedio	199.0	2251	148.8		166.6		246.2		163.5		165.3		211.1			
Desv. Std.	11.36	13.05	5.94		9.61		8.97		8.15		5.46		9.70			
%Desv. Std.	5.7%	0.6%	4.0%		5.8%		3.6%		5.0%		3.3%		4.6%			
f'c carácter.	186.5		142.3		156.0		236.3		154.5		159.3		200.4			

Tabla 4.24 Resistencia para f'c diseño=210Kg/cm² con aditivo Conbeton FN70

Tomado de (Unda Duque, 1987, págs. 67-70).

f'c diseño	210 Kg/cm ²		a= 1.1		Dosificación usando aditivo Conbeton FN70											
%mat fino	0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%			
Cilindro	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.		
1	188.4									184.9		217.6		218.0		
2	233.2									166.0		191.7		252.0		
3	241.2									185.9		190.9		260.3		
4	241.8									160.5		195.2		241.8		
5	231.5									145.6		196.8		277.8		
6																
7																
8																
9																
10																
Promedio	236.9									174.3		198.4		251.4		
Desv. Std.	5.31									12.98		10.97		9.24		
%Desv. Std.	2.2%									7.4%		5.5%		3.7%		
f'c carácter.	231.1									160.1		186.4		241.2		

Tabla 4.25 Resistencia y peso unitario para f'c diseño=280Kg/cm²

Tomado de (Unda Duque, 1987, págs. 72-78).

f'c diseño	280 Kg/cm ²		a= 1.1		f'c Kg/cm ²		f'c Kg/cm ²		P.U. Kg/m ³		P.U. Kg/m ³		f'c Kg/cm ²		P.U. Kg/m ³	
%mat fino	0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%			
Cilindro	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.
1	253.0	2274	242.8	2398	243.2	2420	323.4		188.8	2327	220.0	2338	286.7	2328		
2	239.3	2210	243.1	2389	255.4	2389	310.3		176.2	2373	222.0	2348	288.3	2305		
3	255.3	2200	211.3	2385	225.2	2398	284.0		205.3	2330	221.7	2337	287.2	2322		
4	255.6	2198	250.9	2388	255.7	2375	322.3		194.6	2367	208.9	2311	291.5	2322		
5	226.6	2236	218.1	2395	223.1	2406	257.7		199.6	2324	192.8	2318	283.2	2295		
6			235.0	2353			171.0		205.3	2352	207.2	2341				
7			261.8	2377			235.7		214.8	2354	193.6	2323				
8			241.8	2382			310.3		207.0	2318	197.7	2361				
9			242.1	2392			312.5		188.2	2333	219.5	2324				
10			242.8	2376			302.6		193.3	2352	219.2	2340				
Promedio	246.0	2224	239.0	2384	240.5	2398	309.3		197.8	2343	210.3	2334	287.7	2314		
Desv. Std.	12.76	31.98	14.69	12.90	15.80	17.01	13.34		7.60	19.06	11.93	15.06	4.21	13.83		
%Desv. Std.	5.2%	1.4%	6.1%	0.5%	6.6%	0.7%	4.3%		3.8%	0.8%	5.7%	0.6%	1.5%	0.6%		
f'c carácter.	231.9		222.8		223.1		294.7		189.4		197.1		283.1			

Tabla 4.26 Resistencia y peso unitario para f'c diseño=350Kg/cm²

Tomado de (Unda Duque, 1987, págs. 80-85).

f'c diseño	350 Kg/cm ²		a= 1.1				f'c Kg/cm ²		P.U. Kg/m ³					
%mat fino	0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%	
Cilindro	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.	f'c	P.U.
1	270.1	2421	281.4	2402	279.2	2419			237.0	2364	320.1	2304	339.4	2319
2	254.5	2397	289.8	2392	278.1	2409			287.6	2356	357.3	2328	328.3	2311
3	305.8	2412	283.9	2372	237.5	2412			288.7	2392	312.9	2300	299.6	2326
4	306.7	2395	229.2	2422	273.1	2400			285.8	2349	306.8	2296	337.9	2320
5	305.7	2403	258.8	2395	290.1	2434			272.3	2356	306.8	2326	317.6	2317
6	275.6	2410	277.4	2382	281.4	2413			284.3	2312	303.1	2306		
7	334.2	2418	283.6	2398	274.8	2435			343.9	2361	290.5	2313		
8	285.1	2382	288.3	2369	273.8	2426			268.3	2345	273.0	2321		
9	255.6	2384	259.2	2385	299.5	2398			272.0	2353	242.8	2328		
10	299.5	2418	283.3	2380	180.4	2375			345.0	2367	316.5	2294		
Promedio	292.6	2404	278.4	2390	281.3	2412			279.8	2356	303.7	2312	330.8	2319
Desv. Std.	15.50	14.13	11.56	15.68	9.19	18.19			8.60	20.05	15.36	13.38	10.06	5.41
%Desv. Std.	5.3%	0.6%	4.2%	0.7%	3.3%	0.8%			3.1%	0.9%	5.1%	0.6%	3.0%	0.2%
f'c carácter.	275.6		265.7		271.1				270.4		286.8		319.7	

A partir de la resistencia obtenida para el hormigón patrón, y aplicando la ecuación 4.2, hallamos el término C, y el factor D, para relacionar la resistencia esperada con la relación agua-cemento usada en cada una de las otras dosificaciones.

Calculamos, a continuación la resistencia corregida con respecto a la verdadera relación agua-cemento luego de reestimaciones.

Tabla 4.27 Estimación de la resistencia esperada

Estimación resistencia esperada en base a hormigón patrón y relación A/C

Término

39.60

Factor

300.7

%mat.fino	0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%	
f'c diseño	A/C	f'c	A/C	f'c fórmula	A/C	f'c fórmula	A/C	f'c fórmula	A/C	f'c fórmula	A/C	f'c fórmula	A/C	f'c fórmula
350	0.479	261	0.479	261	0.479	261	0.000		0.432	292	0.414	305	0.418	302
280	0.524	234	0.578	205	0.574	207	0.578	205	0.552	218	0.578	205	0.506	245
210 aditivo	0.632	203							0.653	184	0.636	193	0.593	216
210	0.632	178	0.684	154	0.684	154	0.681	155	0.653	168	0.636	176	0.593	197
180	0.720	138	0.742	130	0.742	130	0.641	173	0.742	130	0.689	152	0.643	172
140	0.799	107	0.799	107	0.799	107	0.692	150	0.735	132	0.711	142	0.711	142
%mat.fino	0.0%		1.0%		2.0%		3.0%		5.0%		7.5%		10.0%	
f'c diseño	OBT	COR R	OBT	CORR	OBT	CORR	OBT	CORR	OBT	CORR	OBT	CORR	OBT	CORR
350	261.2	262	252.6	253	229.1	230			252.0	225	269.7	231	306.5	265
280	231.9	230	222.8	252	223.1	250	229.4	260	184.8	196	197.1	223	273.0	259
210 aditivo	202.8	203							149.8	165	186.4	196	220.7	207
210	180.2	183	142.3	167	133.8	157	185.9	216	140.9	151	154.3	158	200.4	184
180	137.6	137	99.8	106	125.0	133	116.1	92	122.0	130	164.7	150	163.7	131
140	106.5	106	90.5	90	102.2	102	120.0	85	130.1	105	180.7	135	121.3	91

Gráfico 4.11 Resistencia obtenida vs. Porcentaje de material fino

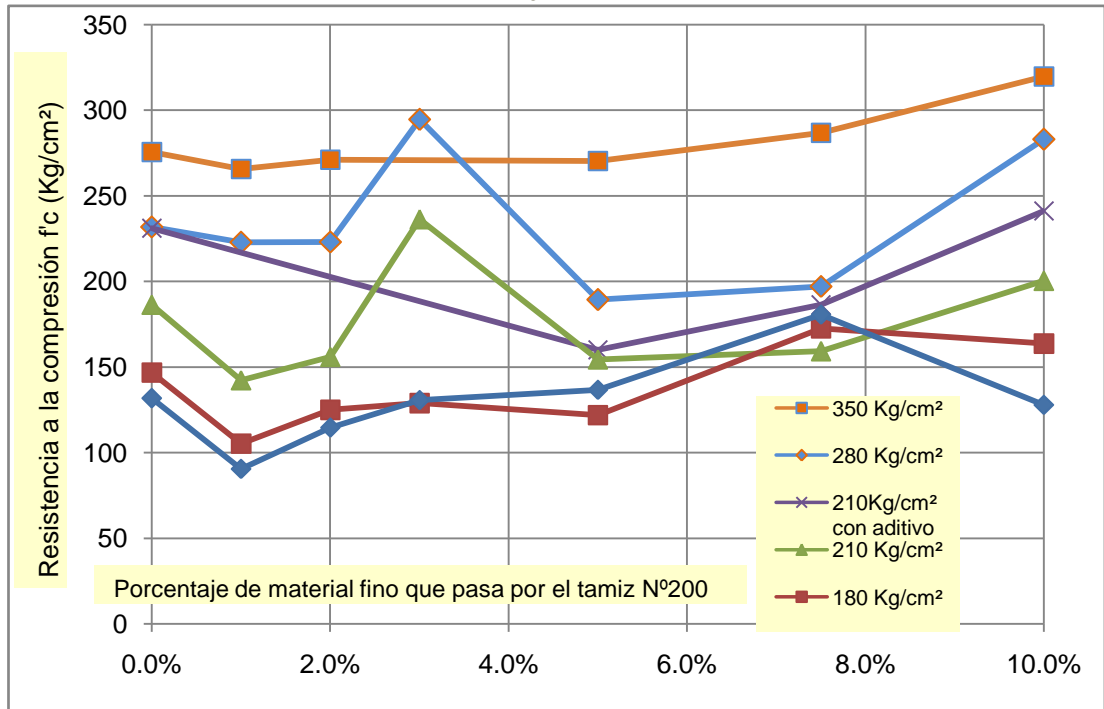
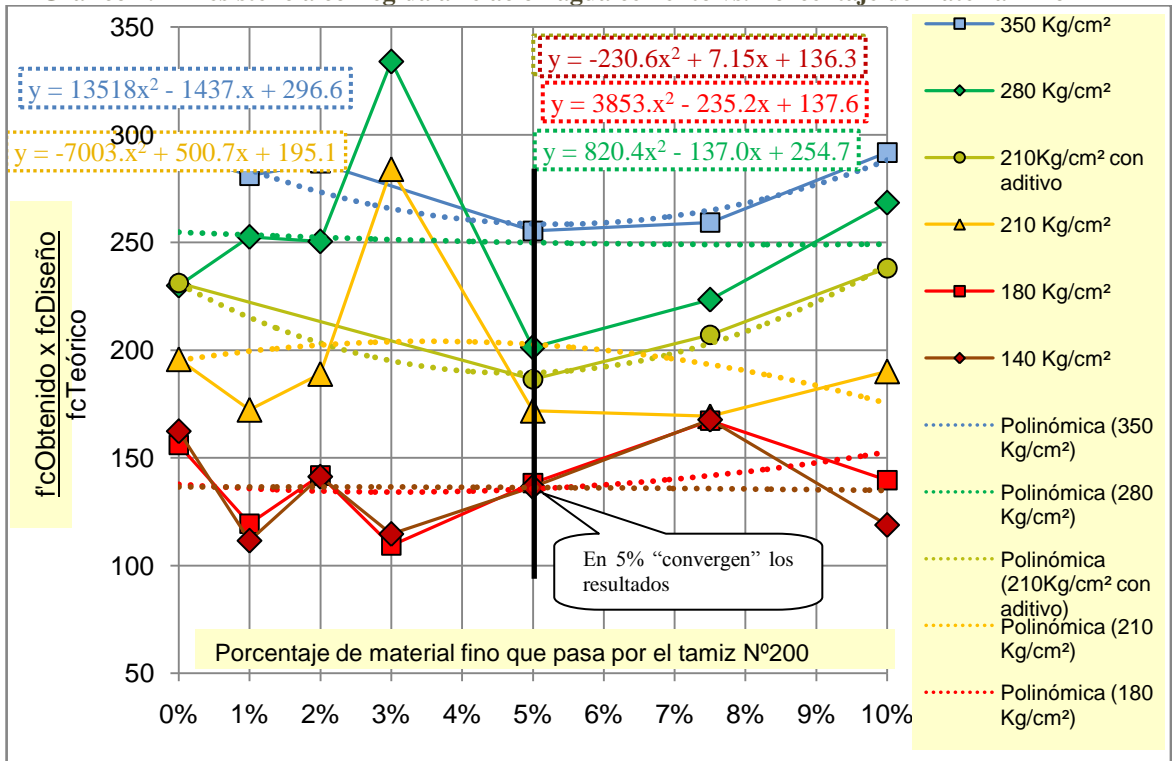


Gráfico 4.12 Resistencia corregida a relación agua cemento vs. Porcentaje de material fino



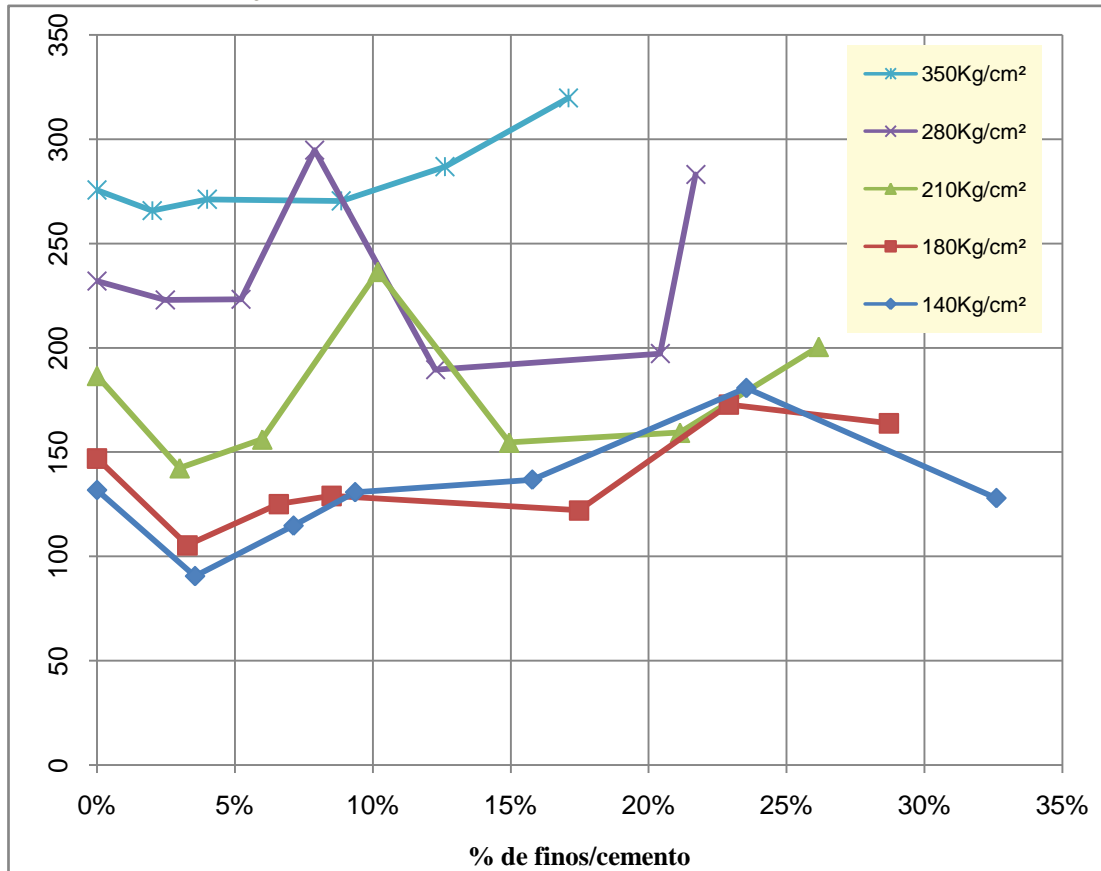
Se observa que se tiene un comportamiento similar hasta el 5% de finos con respecto a la arena, en ese punto convergen las resistencias para todas las dosificaciones, luego existe una tendencia ascendente y divergente hasta el 10% de finos, lo cual no corresponde a un comportamiento real del hormigón, ya que “mientras mayor cantidad de material fino se usaba, se tenía que realizar mayores reestimaciones en las mezclas, con lo que subía la cantidad de cemento. Por lo tanto no se podía determinar la incidencia del material fino en la resistencia del hormigón, por lo que se adoptó la alternativa de analizar la **incidencia del porcentaje de material fino respecto al cemento.**” (Unda Duque, 1987); Resumida en la siguiente tabla:

Tabla 4.28 Porcentaje de finos/cemento vs. Resistencia característica

f'c diseño (Kg/m ³)	Finos / Arena	Agua (Kg/m ³)	Cemento (Kg/m ³)	Arena (Kg/m ³)	Finos (Kg/m ³)	Agua / cemento	Finos / Cemento	f'c (Kg/cm ²)
350	0.0%	175	365	729	0.0	0.479	0.0%	275.6
	1.0%	175	365	727	7.3	0.479	2.0%	265.7
	2.0%	175	365	727	14.6	0.479	4.0%	271.1
	5.3%	175	405	679	35.9	0.432	8.9%	270.4
	8.3%	175	423	645	53.3	0.414	12.6%	286.8
	11.0%	175	419	649	71.6	0.418	17.1%	319.7
280	0.0%	175	334	685	0.0	0.524	0.0%	231.9
	1.0%	175	303	748	7.5	0.578	2.5%	222.8
	2.0%	175	305	794	15.9	0.574	5.2%	223.1
	3.2%	175	303	748	23.9	0.578	7.9%	294.7
	5.4%	175	317	726	38.9	0.552	12.3%	189.4
	8.3%	175	303	748	61.9	0.578	20.4%	197.1
210	0.0%	175	277	703	0.0	0.632	0.0%	186.5
	1.0%	175	256	764	7.7	0.684	3.0%	142.3
	2.0%	175	256	764	15.3	0.684	6.0%	156.0
	3.2%	175	257	811	26.2	0.681	10.2%	236.3
	5.4%	175	268	747	40.1	0.653	14.9%	154.5
	8.3%	175	275	703	58.1	0.636	21.1%	159.3
180	0.0%	175	243	737	0.0	0.720	0.0%	146.9
	1.0%	175	236	770	7.7	0.742	3.3%	105.3
	2.0%	175	236	770	15.6	0.742	6.6%	125.0
	3.2%	175	273	720	23.2	0.641	8.5%	128.9
	5.4%	175	236	770	41.3	0.742	17.5%	122.0
	7.9%	175	254	736	58.2	0.689	22.9%	172.6
140	0.0%	175	219	775	0.0	0.799	0.0%	131.8
	1.0%	175	219	775	7.8	0.799	3.6%	90.5
	2.0%	175	219	775	15.6	0.799	7.1%	114.7
	3.2%	175	253	730	23.7	0.692	9.4%	130.8
	5.1%	175	238	737	37.6	0.735	15.8%	136.7
	7.9%	175	246	732	57.9	0.711	23.5%	180.7
	11.0%	175	246	727	80.2	0.711	32.6%	127.9

Observamos que el porcentaje de finos con respecto al cemento llega hasta el 32%.

Gráfico 4.13 Porcentaje de finos/cemento vs. resistencia característica



En este gráfico, al igual que en los anteriores, vemos que no existe una relación clara en el aumento o reducción de resistencia respecto al contenido de material fino, por lo que, en esa disertación el planteamiento que se realizó fue el hallar curvas relación agua-cemento vs. $f'c$ para los distintos porcentajes de finos en relación a la arena, con un margen de seguridad enorme, para garantizar la resistencia.

4.3.2 Determinación del contenido de aire atrapado y sus consecuencias en el hormigón, utilizando cemento portland puzolánico tipo IP

En esta monografía, elaborada por Sergio Oswaldo Tamayo Tamayo, se obtiene el porcentaje de aire atrapado para diferentes tamaños máximos de agregado, relaciones agua-cemento y asentamientos, los resultados los resumimos a continuación:

Diseño		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tamaño max. agregado	mm	25	25	25	25	19	19	19	19	12.5	12.5	12.5	12.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Asentamiento	cm	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Relación agua-cemento		0.5435	0.5435	0.350	0.350	0.5435	0.5435	0.350	0.350	0.5435	0.5435	0.350	0.350	0.5435	0.5435	0.350	0.350
Agua	Kg/m ³	191	163	199	217	216	219	214	267	225	241	245	238	232	250	228	259
Ripio	Kg/m ³	801	801	801	801	1018	898	824	852	886	851	802	759	869	811	773	724
Cemento	Kg/m ³	302	254	501	552	343	355	543	666	366	397	569	617	382	420	386	643
Arena	Kg/m ³	920	745	694	646	803	684	627	606	674	647	610	578	664	645	612	573
f'c	Kg/cm ²	258	254	480	448	279	352	499	437	272	227	465	468	294	339	388	486
Aire atrapado	%	0.70%	0.90%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	1.40%	0.60%	1.10%	0.90%	1.40%	1.30%	1.70%	2.10%	1.90%	1.90%
Aire Atrap. ACI	%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%
Agua neta (ecuación 4.1)	Kg/m ³	182	193	182	193	191	202	191	202	206	218	206	218	216	228	216	228
Agua neta (ecuación 4.2)	Kg/m ³	196	200	196	200	189	192	189	192	177	180	177	180	170	173	170	173
Cemento*Relación A/C	Kg/m ³	164.1	138.0	175.4	193.2	186.4	192.9	190.1	233.1	198.9	215.8	199.2	216.0	207.6	228.3	135.1	225.1
Absorción-Humedad	Kg/m ³	26.9	25.0	23.7	23.8	29.6	26.1	24.0	33.9	26.1	25.2	45.9	22.1	24.4	21.7	92.9	34.0
Absorción teórica	Kg/m ³	65.3	57.1	54.7	52.5	65.8	56.9	52.2	52.0	56.1	53.9	50.8	48.1	55.2	52.7	50.1	46.9
Absorción agregado	%	3.80%	3.69%	3.66%	3.63%	3.62%	3.60%	3.60%	3.57%	3.60%	3.60%	3.60%	3.60%	3.60%	3.62%	3.62%	3.62%

Tabla 4.29 Aire atrapado vs. TMA, relación agua-cemento y asentamientos.

(Tamayo, 1999)

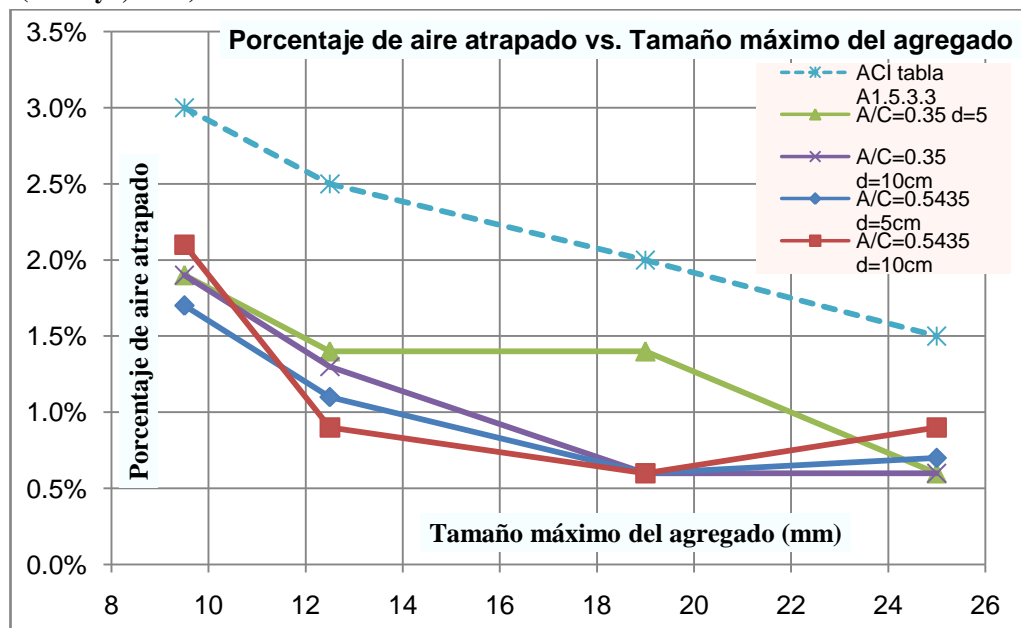
Los agregados empleados en esta monografía tienen las siguientes características:

Tabla 4.30 características de los materiales utilizados. (Tamayo, 1999)

Características de los materiales		Cusuco	Rumicucho	Pifo	
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1330	1160	1350	Agregado grueso
Peso unitario compacto	Kg/m ³	1460	1250	1450	
Gravedad específica	Kg/m ³	2480	2290	2470	
Absorción	%	3.32%	4.23%	2.76%	
Es triturado?	1 ó 0	1	0	1	
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1750	1500	1740	
Peso unitario compacto	Kg/m ³	1890	1630	1810	
Gravedad específica	Kg/m ³	2380	2400	2510	
Módulo de finura???	Kg/m ³	3.38	3.12	2.90	
Absorción	%	4.96%	6.32%	4.70%	
Es triturado?	1 ó 0	0	0	1	

Elaboramos, así un gráfico para determinar la incidencia del tamaño máximo del agregado en la formación de aire atrapado.

Gráfico 4.14 Porcentaje de aire atrapado vs. Tamaño máximo del agregado. (Tamayo, 1999)



- Existe una clara tendencia a reducción del aire atrapado al aumentar el tamaño máximo del agregado.
- Las cantidades de agua son las de agua neta real, luego de reestimaciones (cuando fueran necesarias).

- No se incluye el agua de absorción en la tabla 4.16.
- Los hormigones con relación agua-cemento de 0.35 presentan resistencias extraordinarias de hasta 500Kg/cm².
- La cantidad de cemento supera al máximo recomendado de 500Kg/m³.
- Con material de nuestro medio se requiere mayor cantidad de agua para lograr los asentamientos de la tabla 6.33 de ACI 211.1. y el aire atrapado es mucho menor que el estimado en tabla A1.5.2.3 de ACI. (Tamayo, 1999). De acuerdo al gráfico 4.5, podemos afirmar que **el contenido de aire atrapado nos da dentro de 2/3 que el de la tabla ACI A1.5.2.3.**
- La cantidad de aire atrapado, prácticamente se relaciona solo con el tamaño máximo del agregado. (Tamayo, 1999)
- Para la presente disertación, debido a que no se realizaron ensayos del aire atrapado para el hormigón patrón, tomaremos los valores aquí obtenidos para tamaño máximo del agregado de 25 mm. Para las dosificaciones que contienen material fino que pasa por el tamiz N°200 si se realizaron estos ensayos.

4.3.3 Influencia de la inclusión de aire en la resistencia mecánica y trabajabilidad del hormigón

En esta disertación, elaborada por Diego F. Aguirre Burneo y Diego Vicente Velez Mendoza, se analizaron hormigones con diversos contenidos de inductor de aire. Como hemos mencionado anteriormente en capítulo 1, el aire incluido intencionalmente en el hormigón, difiere del aire atrapado incidentalmente en que, este último, a pesar de encontrarse en menor proporción, forma cavidades más grandes que perjudican la resistencia e impermeabilidad del hormigón mientras que, el aire incluido mediante el uso de aditivos, forma burbujas de tamaño pequeño que son beneficiosas, porque mejoran la compacidad del hormigón circundante y sirven

como reservorios del agua intersticial, evitando su exceso en la hidratación del cemento lo que nos brinda mejor adherencia.

Tabla 4.31 Aire incluido, peso unitario y resistencia.

(Aguirre Burneo & Velez Mendoza, 2000).

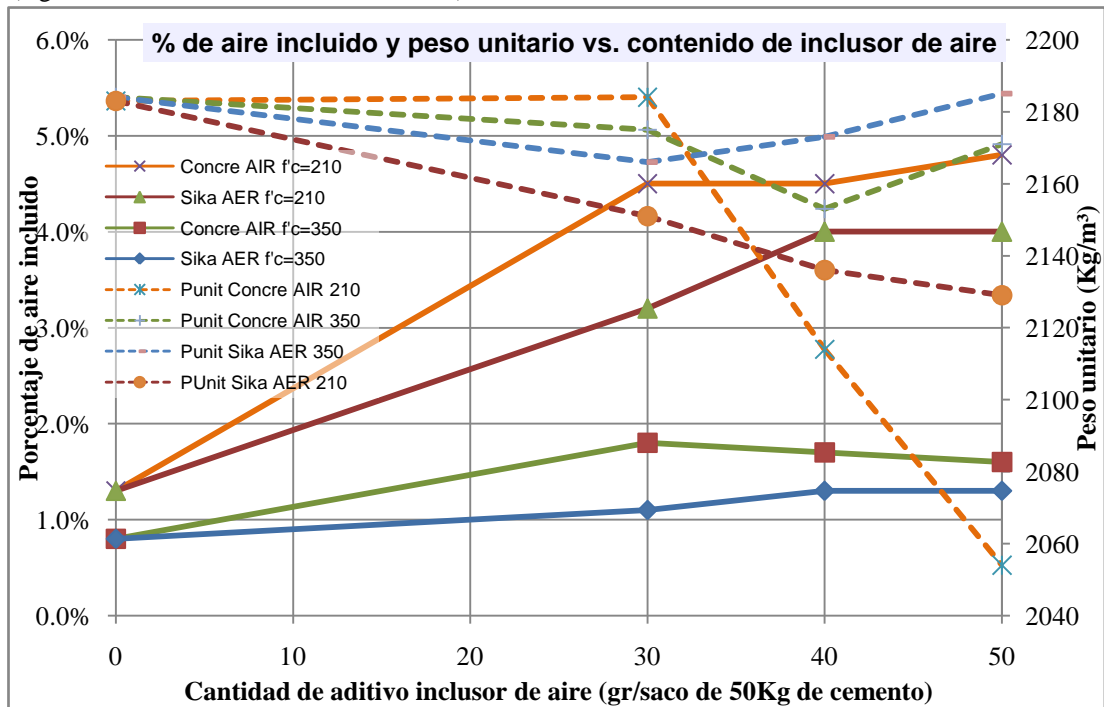
Materiales		Ripio	Arena
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1294	1634
Peso unitario compacto	Kg/m ³	1454	1765
Gravedad específica	Kg/m ³	2418	2543

Δ	cm	8
TMA	mm	19

Para relación A/C 0.63		Patrón	Concre AIR (cm ³ /saco)				Sika AER (cm ³ /saco)			
Contenido de aditivo		0	30	40	50	40	30	40	50	40
A/C		0.63	0.63	0.63	0.63	0.61	0.63	0.63	0.63	0.58
% aire incluido	%	1.30%	4.50%	4.50%	4.80%	3.80%	3.20%	4.00%	4.00%	3.00%
Peso unitario	Kg/m ³	2183	2184	2114	2054	2060	2151	2136	2129	2152
f'c (muestra 1)	Kg/cm ²	209.8	183.3	211.4	159.1	214.3	181.2	177.8	182.9	208.5
f'c (muestra 2)	Kg/cm ²	209.8	193.6	189.1	164.5	226.3	175.2	172.0	171.1	204.2
f'c (muestra 3)	Kg/cm ²	209.0	197.4	196.7	157.7	221.3	187.0	179.5	172.6	225.7
Agua	Kg/m ³	205	197	197	197	197	189	189	189	189
Ripio	Kg/m ³	674	674	674	674	674	674	674	674	674
Cemento	Kg/m ³	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Arena	Kg/m ³	899	899	899	899	899	899	899	899	899
Resistencia promedio	Kg/cm ²	209.5	191.4	199.1	160.4	220.6	181.1	176.4	175.5	212.8
Desviación estándar	Kg/cm ²	0.5	7.3	11.3	3.6	6.0	5.9	3.9	6.4	11.4

Para relación A/C 0.41		Patrón	Concre AIR (cm ³ /saco)				Sika AER			
Contenido de aditivo		0	30	40	50	40	30	40	50	40
A/C		0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
% aire incluido	%	0.80%	1.80%	1.70%	1.60%	1.30%	1.10%	1.30%	1.30%	1.30%
Peso unitario	Kg/m ³	2184	2175	2153	2171	2153	2166	2173	2185	2170
f'c (muestra 1)	Kg/cm ²	359.1	357.3	352.7	381.6	359.9	358.9	341.8	359.1	360.0
f'c (muestra 2)	Kg/cm ²	358.8	339.6	347.0	368.6	360.6	352.8	375.0	361.2	335.3
f'c (muestra 3)	Kg/cm ²	353.0	364.6	359.3	380.7	345.3	373.3	360.7	367.2	366.2
Agua	Kg/m ³	203	203	203	203	203	203	203	203	203
Ripio	Kg/m ³	667	667	667	667	667	667	667	667	667
Cemento	Kg/m ³	492	492	492	492	492	492	492	492	492
Arena	Kg/m ³	646	646	646	646	646	646	646	646	646
Resistencia promedio	Kg/cm ²	357.0	353.8	353.0	377.0	355.3	361.7	359.2	362.5	353.8
Desviación estándar	Kg/cm ²	3.4	12.9	6.2	7.3	8.6	10.5	16.7	4.2	16.3

Gráfico 4.15 Porcentaje de aire incluido y peso unitario vs. contenido de aditivo inclusor.
(Aguirre Burneo & Velez Mendoza, 2000)

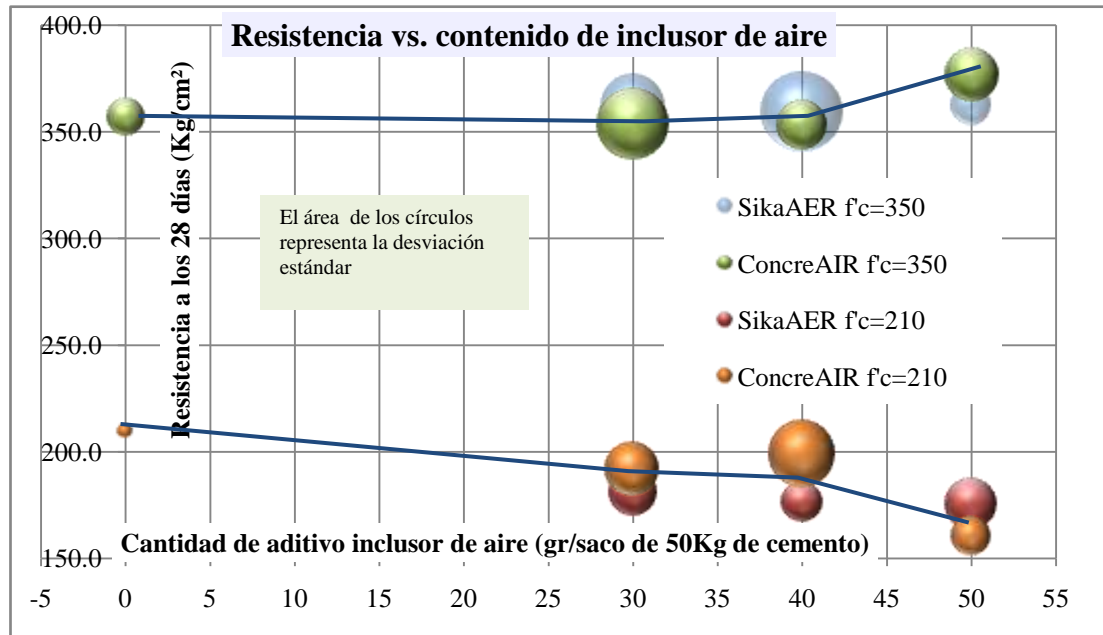


En este gráfico observamos:

- El contenido de aire incluido aumenta con el uso de aditivo inclusor hasta un valor óptimo para 30 a 40 gramos por saco de cemento.
- El aditivo Concre AIR tiene más eficacia que Sika AER.
- El porcentaje de aire incluido mediante aditivo está en gran dependencia de la relación agua-cemento, siendo en promedio 2.8 veces mayor para una relación agua-cemento de 0.63, respecto a la otra de 0.41.
- El porcentaje de aire atrapado (sin el uso de aditivo inclusor) es asimismo mayor para mayor relación agua-cemento, siendo 1.3% para A/C=0.63 y 0.8% para A/C=0.41. Esto para tamaño máximo del agregado de 19 mm.
- El peso unitario tiende a disminuir con el aumento de aire incluido, aunque no se pudo cuantificar directamente su incidencia.

A continuación analizamos la influencia del aire incluido en la resistencia a compresión del hormigón. El área de los círculos representa la desviación estándar de la resistencia.

Gráfico 4.16 Resistencia vs. contenido de inclusor de aire



Se observa que para el hormigón con $f'c=210$ Kg/cm², la resistencia baja hasta en un 20% con la inclusión de 50 gr/saco de aditivo en cambio, para $f'c=350$ Kg/cm², la resistencia prácticamente no se ve afectada. Sin embargo, para ambas resistencias, la desviación estándar es mucho mayor que para el hormigón patrón.

4.3.4 Abrasión en los agregados y su influencia en hormigones

Esta monografía, desarrollada por Santiago Mauricio Encalada Figueroa y Gerald Fuentes Naranjo, correlaciona el desgaste por abrasión del agregado grueso con la resistencia a compresión. Presentamos el resumen de sus resultados.

Tabla 4.32 Características de los materiales.

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

Características de los materiales		Guayllabamba	Pifo	Hidalgo&Hidalgo	Pifo+Cusuco	Cusuco
% Abrasión	%	16.0%	26.0%	33.0%	40.0%	54.0%
Gravedad específica	Kg/m ³	2580	2380	2150	2440	2490
Es triturado?	1 ó 0	1	1	1	1	1
Gravedad específica	Kg/m ³	2480	2480	2480	2480	2480
Módulo de finura	%	11.07%	13.96%	13.88%	19.58%	19.58%
Es triturado?	1 ó 0	1	1	1	0	0
Peso unitario compacto	Kg/m ³	1470	1399	1355	1450	1501
Factor de volumen	#	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68

Tabla 4.33 Incidencia de la abrasión para los diseños f'c=140 Kg/cm².

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

f'c diseño	Kg/cm ²	140	Relación agua/cemento		#	0.67
f'c formula Exponencial	Kg/cm ²	230				
Asentamiento	cm	8	Tamaño máximo del agregado		mm	37.5
Procedencia		Guayllabamba	Pifo	Hidalgo&Hidalgo	Pifo+Cusuco	Cusuco
% Abrasión	%	16.0%	26.0%	33.0%	40.0%	54.0%
Agua	Kg/m ³	181.0	181.0	181.0	181.0	181.0
Ripio	Kg/m ³	999.6	951.6	921.1	986.1	1020.7
Cemento	Kg/m ³	272.1	272.1	272.1	272.1	272.1
Arena	Kg/m ³	829.2	798.5	727.5	814.3	773.5
f'c obtenido	Kg/cm ²	176.0	170.4	163.9	161.7	158.8
Dif f'c fórmula-diseño	%	-23.4%	-25.8%	-28.6%	-29.6%	-30.9%
Dif f'c obtenido-diseño	%	25.7%	21.7%	17.0%	15.5%	13.4%

Tabla 4.34 Incidencia de la abrasión para los diseños f'c=210 Kg/cm².

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

f'c diseño	Kg/cm ²	210	Relación agua/cemento		#	0.54
f'c formula Exponencial	Kg/cm ²	316				
Asentamiento	cm	8	Tamaño máximo del agregado		mm	37.5
Procedencia		Guayllabamba	Pifo	Hidalgo&Hidalgo	Pifo+Cusuco	Cusuco
% Abrasión	%	16.0%	26.0%	33.0%	40.0%	54.0%
Agua	Kg/m ³	181.0	181.0	181.0	181.0	181.0
Ripio	Kg/m ³	999.6	951.6	921.1	986.1	1020.7
Cemento	Kg/m ³	335.1	335.1	335.1	335.1	335.1
Arena	Kg/m ³	779.1	748.4	677.5	737.7	723.4
f'c obtenido	Kg/cm ²	270.2	257.7	249.1	238.7	234.6
Dif f'c fórmula-diseño	%	-14.6%	-18.6%	-21.3%	-24.6%	-25.9%
Dif f'c obtenido-diseño	%	28.7%	22.7%	18.6%	13.7%	11.7%

Tabla 4.35 Incidencia de la abrasión para los diseños $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

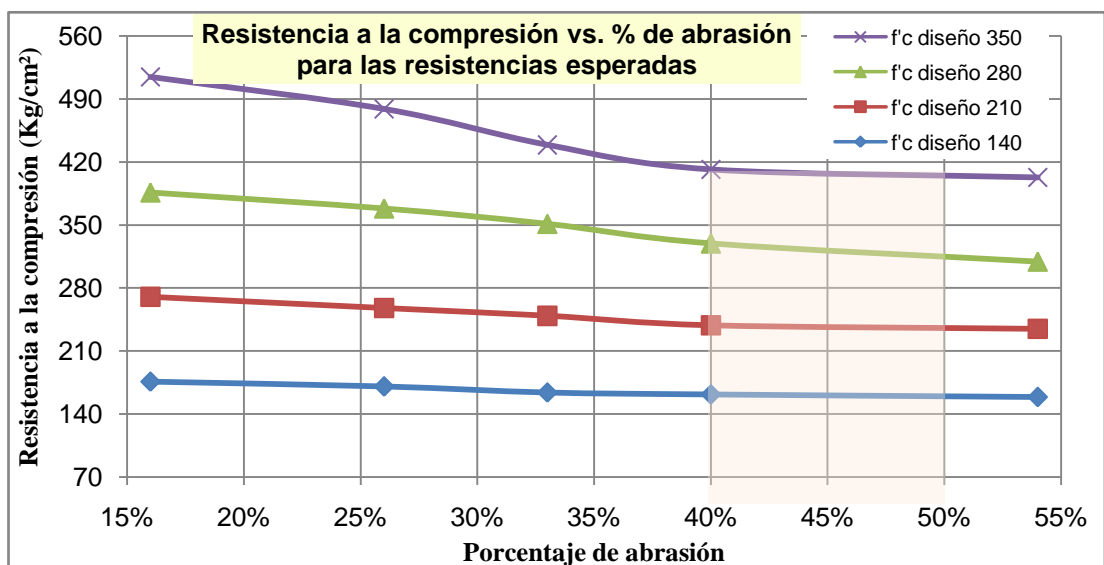
f'c diseño	Kg/cm ²	280	Relación agua/cemento			#	0.43
f'c formula Exponencial	Kg/cm ²	415					
Asentamiento	cm	8	Tamaño máximo del agregado			mm	37.5
Procedencia		Guayllabamba	Pifo	Hidalgo&Hidalgo	Pifo+Cusuco	Cusuco	
% Abrasión	%	16.0%	26.0%	33.0%	40.0%	54.0%	
Agua	Kg/m ³	181.0	181.0	181.0	181.0	181.0	181.0
Ripio	Kg/m ³	999.6	951.6	921.1	986.1	1020.7	
Cemento	Kg/m ³	420.2	420.2	420.2	420.2	420.2	
Arena	Kg/m ³	711.5	680.8	609.8	670.1	655.8	
f'c obtenido	Kg/cm ²	386.3	368.5	351.3	329.4	309.3	
Dif f'c fórmula-diseño	%	-7.0%	-11.3%	-15.4%	-20.7%	-25.5%	
Dif f'c obtenido-diseño	%	38.0%	31.6%	25.5%	17.6%	10.5%	

Tabla 4.36 Incidencia de la abrasión para los diseños $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$.

(Encalada Figueroa & Fuentes Naranjo, 2000)

f'c diseño	Kg/cm ²	350	Relación agua/cemento			#	0.35
f'c formula Exponencial	Kg/cm ²	506					
Asentamiento	cm	8	Tamaño máximo del agregado			mm	37.5
Procedencia		Guayllabamba	Pifo	Hidalgo&Hidalgo	Pifo+Cusuco	Cusuco	
% Abrasión	%	16.0%	26.0%	33.0%	40.0%	54.0%	
Agua	Kg/m ³	181.0	181.0	181.0	181.0	181.0	181.0
Ripio	Kg/m ³	999.6	951.6	921.1	986.1	1020.7	
Cemento	Kg/m ³	523.1	523.1	523.1	523.1	523.1	
Arena	Kg/m ³	629.7	619.1	527.7	588.2	573.9	
f'c obtenido	Kg/cm ²	514.5	479.1	439.0	411.9	402.9	
Dif f'c fórmula-diseño	%	1.7%	-5.3%	-13.2%	-18.6%	-20.4%	
Dif f'c obtenido-diseño	%	47.0%	36.9%	25.4%	17.7%	15.1%	

Gráfico 4.17 Resistencia a la compresión en relación al % de abrasión



En este gráfico podemos observar:

- La resistencia decrece a mayor porcentaje de abrasión.
- No existe mucha variación en la resistencia obtenida dentro de la banda del 40% al 50%, correspondiente a las normas ASTM C-131 e INEN 861.
- Para los diseños de mayor resistencia, existe mayor sensibilidad ya que se depende en mayor medida de la resistencia del agregado grueso.
- Para estimar en esta disertación, la curva resistencia vs. $f'c$ teórica, podemos emplear los resultados correspondientes a los hormigones realizados con agregado grueso de la mina de Pifo, por tener un porcentaje de abrasión similar al material de ByP el Volcán que es de 26%.
- La función aproximada será del tipo de Abrams:

$$f'c_{TEORICA} = \frac{K_1}{K_2^{A/C}} \quad \text{Ecuación 4.37} \quad \text{En donde:}$$

$f'c$ teórica = Resistencia esperada a la compresión en Kg/cm².

K_1 = Factor de proporcionalidad, buen ajuste en 1475 Kg/cm².

K_2 = Base del divisor, buen ajuste en 25.5 (adimensional).

A/C = Relación agua cemento.

Tabla 4.37 Resistencia esperada con agregado grueso de abrasión 26%

		factor	1475
		base	25.5
f'c diseño	A/C	f'c obtenido	Abrams
140	0.665	170.4	171.0
210	0.540	257.7	256.4
280	0.431	368.5	365.5
350	0.346	479.1	481.0

Con esta función tenemos un punto de partida para la elaboración del hormigón patrón.

4.3.5 Hormigón Autocompactante

Realizada por Mario Andrés Puente Machado y Paulo Fabián Salazar Viteri, analiza el comportamiento del hormigón con superfluidificantes. Sus resultados más destacados se resumen a continuación.

Tabla 4.38 Características de los materiales y resultados de los ensayos.

(Puente Machado & Salazar Viteri, 2001)

Características de los materiales		Ripio	Arena							
Procedencia	Guayllabamba									
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1260	1610							
Peso unitario compacto	Kg/m ³	1390	1790							
Gravedad específica	Kg/m ³	2470	2370							

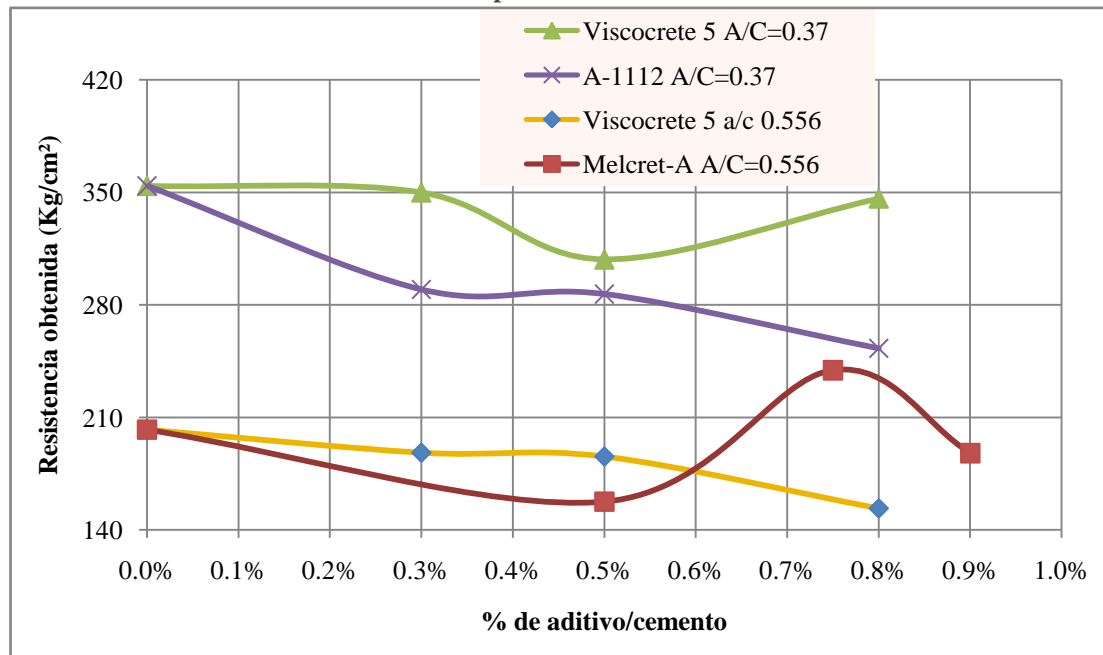
Tipo de superfluidificante			Policarboxilatos			Polímeros hidroxilados		
Para relación A/C	0.37	Patrón	Sika Viscocrete 5			A-1112		
Contenido de aditivo	%/cemento	0%	0.30%	0.50%	0.80%	0.30%	0.50%	0.80%
f'c (característica)	Kg/cm ²	354.1	350.0	308.3	346.3	289.7	286.8	253.0
Agua	Kg/cm ³	222	222	222	222	222	222	222
Ripio	Kg/cm ³	764	764	764	764	764	764	764
Cemento	Kg/cm ³	595	595	595	595	595	595	595
Arena	Kg/cm ³	652	652	652	652	652	652	652

Carácterísticas de fluidez								
Cono invertido D50cm	seg	9.45	2.87	2.24	2.03	4.28	3.79	3.46
Viga de flujo T40cm	seg	32.05	5.48	4.26	3.97	7.83	7.41	6.95

Tipo de superfluidificante			Policarboxilatos			Melamínico		
Para relación A/C	0.556	Patrón	Sika Viscocrete 5			Aditec Melcret-A		
Contenido de aditivo	%/cemento	0%	0.30%	0.50%	0.80%	0.50%	0.75%	0.90%
f'c (característica)	Kg/cm ²	202.4	188.1	185.7	153.5	157.6	239.4	187.8
Agua	Kg/cm ³	222	222	222	222	222	222	222
Ripio	Kg/cm ³	847	847	847	847	847	847	847
Cemento	Kg/cm ³	396	396	396	396	396	396	396
Arena	Kg/cm ³	723	723	723	723	723	723	723

Características de fluidez								
Cono invertido D50cm	seg	3.7	1.03	0.85	0.77	2.36	1.48	1.13
Viga de flujo T40cm	seg	10.3	2.64	1.73	1.57	6.44	5.27	5.03

Gráfico 4.18 resistencia vs. contenido de superfluidificante



“Encontramos que la resistencia característica para el hormigón patrón es de 202.4 y 354.1 Kg/cm² para relaciones agua-cemento de 0.556 y 0.37 respectivamente, por lo tanto la función lineal resistencia vs. agua-cemento será:

$$f'c = 655.8 - 815.5 \cdot a/c \quad \text{Ecuación 4.38} \quad \text{en donde } f'c \text{ estaría dado en Kg/cm}^2.$$

Esto se aplica para agregados grueso y fino provenientes de Guayllabamba.” (Puente Machado & Salazar Viteri, 2001)

4.4. Realización de dosificaciones propuestas con incorporación de material fino.

4.4.1 Consideraciones sobre la distribución granulométrica:

- “La compacidad máxima se obtiene con una curva de granulometría ideal.
- La máxima compacidad nos proporciona máxima resistencia.
- Dentro de ciertos márgenes, la distribución granulométrica del agregado grueso no influye mucho en la resistencia.

- La granulometría del agregado fino influye notablemente en la docilidad de la mezcla.
- Si la distribución granulométrica brinda el menor número de huecos se reduce la cantidad necesaria de pasta y la filtración de esta.
- Una granulometría optima, para una misma consistencia y relación agua cemento ofrecerá mínimo consumo de cemento y mínima segregación.
- Se requiere granulometría rica en finos menores que 0.32mm (pasa tamiz #50). Un buen contenido de finos de tamaño menor a 0.25mm (pasa tamiz #60) tiene mucha importancia en obtener impermeabilidad y buen acabado.
- Los áridos triturados forman mayor cantidad de huecos que los rodados y requieren mayor cantidad de arena.
- A mayor volumen de áridos, a más de requerir menor cantidad de pasta, se produce menor retracción y fluencia.
- Generalmente los áridos son más resistentes que la pasta, que rellena entre sus partículas más finas. El volumen de pasta es proporcional a la superficie específica entre agregados y por lo tanto, el agua neta es proporcional al agua de mojado, entonces se puede anticipar la cantidad de agua de mezcla.
- Adicionalmente a la pasta que rellena los intersticios entre agregados, se requiere pasta adicional para conseguir docilidad.
- El tamaño máximo del agregado depende de las condiciones de colocación, recubrimiento y espaciamiento entre varillas.
- No solo es importante que el árido posea buena granulometría, sino que esta esté distribuida bien en todo su espacio (bien mezclada), ya que sus variaciones influyen en la docilidad y pueden dar lugar a mayor necesidad de agua.

- Al producirse mucha segregación el hormigón formará huecos y se tornará débil y poco durable.
- Fuller demostró que la granulometría continua ofrece un hormigón más trabajable.
- Bolomey y Otto Graf consideraron al cemento como otro árido. Por tanto nosotros podemos, con los resultados de su finura Blaine y la gravedad específica del cemento estimar un diámetro promedio de sus partículas.
- Una granulometría de alta compacidad se puede lograr con muchos gruesos y poca fracción fina, sin embargo puede resultar poco dócil y de disgregación fácil.
- Para que no se disgregue debemos aumentar la cantidad de finos.
- No se puede establecer una curva óptima, depende de cada campo de aplicación.
- A efectos de ajuste granulométrico, se considera como tamaño máximo del agregado (TMA) al del tamiz más pequeño que retenga menos del 25% de la masa total.”(Universidad de Oviedo, España, 2005).

4.4.2 Consideraciones sobre el agua de mezcla y curado

- “En fundiciones con hormigón premezclado, a veces se añade agua al mixer por que no satisface el asentamiento requerido por las condiciones de colocación.
- La norma ASTM C94 en *Specification For Ready Mixed Concrete* pide atender en:
 - No se puede exceder el máximo contenido de agua para el lote de mixers.
 - Para añadir agua no debe haberse descargado parte del mixer, excepto para pruebas de asentamiento.
 - El proceso debe ser completado dentro de 15 minutos.
 - La tolva debe girar al menos 30 revoluciones para asegurar homogeneidad.”(Concrete Construction, 2014)

- “Una regla de dedo dice que por cada 5 l/m³ de agua añadida se aumentará el asentamiento en 2.5 cm. Sin embargo, la temperatura y contenido de aire pueden variar esta condición.
- El rol del agua es la hidratación del cemento y materiales cementicios, para formar principalmente silicatos de calcio hidratados, que son la pega cristalina.
- El agua se consume químicamente a 25% en peso, respecto al cemento esto es relación A/C=0.25.
- Además se requiere 20% adicional, porque queda una parte atrapada entre las partículas de cemento hidratadas, esto es relación A/C=0.45.
- Otros estudios han demostrado que una relación A/C=0.40 es suficiente para la hidratación completa del cemento.
- Sin embargo, el cemento rara vez se hidrata completamente, porque el agua no alcanza a acceder al interior de muchas de sus partículas. En realidad, bajas relaciones A/C mejoran la resistencia y durabilidad del concreto, aunque el cemento no se hidrate completamente.
- La razón es que el agua que quede libre de la reacción de hidratación, produce mayor dispersión de ingredientes, es decir menos “puenteo” entre los cristales de silicatos de calcio hidratados.
- El concreto con mucho contenido de agua es menos denso, menos resistente y más permeable (menor durabilidad).”(Concrete Construction, 2014)
- Esto fue analizado en el artículo *Curing and hydration, two half-truths don't make a whole* de Ken Hover en la publicación *L&M Concrete News* en 2002, manifiesta que la solución es:
 - “Restringir el agua de mezcla para mantener granos de cemento cercanos.

- Aplicar medidas de curado para minimizar la pérdida de agua, y si es posible, proveer el agua necesaria para sostener la hidratación.” (Hover, 2014)
- La Asociación del Cemento Portland, en su “Diseño y control de mezclas de concreto”, establece que “una mezcla adecuadamente proporcionada debe dar un concreto fresco trabajable, y cuando endurezca debe ser durable, resistente y de apariencia homogénea.” (Concrete Construction, 2014).

4.4.3 Determinación del agua neta

Resumimos las expresiones para el cálculo del agua neta referida al volumen total de la mezcla en litros/m³:

Ecuación 4.1 Agua neta según ACI y también aplicable a método de Bolomey

$$A_n = \frac{3890}{D^{0.01}} - 3602 - 0.075 \cdot \Delta^2 + 3.6 \cdot \Delta + \text{aire} \cdot (8 \cdot \ln D - 44)$$

Excluir este término para el método de Bolomey

Ecuación 4.9 Agua neta método de Fuller

$$A_n = \frac{3.582 \cdot \Delta + 276}{\sqrt[6]{D}} + 15 \cdot G_T + 6.8 \cdot F_T - 3.6 \cdot \text{Seco}$$

Ecuación 4.14 Agua de mojado, capa uniforme, método de Bolomey

$$W = \frac{12 \cdot a \cdot \text{esp}}{\phi \cdot D} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{t_{\min}}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right)$$

Ecuación 4.31 Volumen de huecos método Faury agregado grueso triturado y fino triturado

$$V_h = A_n = \left(0.35 + \frac{\Delta^{0.455}}{27.5} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

Ecuación 4.32 Volumen de huecos método Faury agregado grueso triturado y fino rodado

$$V_h = A_n = \left(0.33 + \frac{\Delta^{0.69}}{72} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

Ecuación 4.33 Volumen de huecos método Faury para agregado grueso rodado y fino rodado

$$V_h = A_n = \left(0.25 + \frac{\Delta^{0.23}}{14.64} \right) \cdot D^{-0.2} + P \cdot \frac{1.5 - 0.5 \cdot VPot}{500 \cdot (0.8 - 0.75 \cdot P)}$$

Siendo las variables:

An: Agua neta, en litros/m³.

Δ : Asentamiento, en cm. {Todos, excepto Bolomey}
D, Tamaño máximo del agregado, en mm. {Todos, excepto Bolomey}
aire?, Es hormigón con aire incluido? (0= falso, 1= verdadero) {ACI}
Gt?: Es el agregado grueso triturado? (verdadero=1, falso=0) {Fuller}
Ft? : Es el agregado fino triturado? (verdadero=1, falso=0){Fuller}
Seco?: Es hormigón de baja trabajabilidad? (verdadero=1, falso=0) {Fuller}
Ret_i: Fracción retenida para cada intervalo de la curva granulométrica. {Bolomey}
D_{i-1}:Tamaño mayor de cada intervalo del árido, en mm, siendo superior a 0.16 mm.
D_i: Tamaño menor de cada intervalo del árido, en mm. {Bolomey}
P, Valor del efecto pared, según descrito en 4.2.4.2↑. {Faury}
VPot?, Es la energía de compactación potente? (1=verdadero, 0=falso). {Faury}

Las variables en común son Δ y D, para el método ACI se puede considerar si el hormigón tendrá un inclusor de aire, en los métodos de Fuller y Faury también se considera si los agregados serán rodados o triturados y en el método de Faury, además se toman en cuenta las condiciones de colocación representadas por el efecto pared y la potencia de compactación. En el método de Bolomey se asume que las partículas tienen esfericidad y densidad constante y se toma en cuenta al agua necesaria para mojar superficialmente a toda la serie granulométrica de partículas. En las cuatro expresiones el contenido de agua es el volumen relativo al volumen total de la mezcla, sin embargo su densidad varía en función de la temperatura pero en una proporción de 2.5% entre 10°C y 25°C, lo que representa apenas medio litro para un contenido cercano a los 200 l/m³.

Cabe recalcar que en el método de Faury, “en el caso de haberse previsto el empleo de un inclusor de aire, la cantidad de aire deberá sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.”(Universidad Católica del Norte, Chile, 2003).

Por último, incluiremos la ecuación del método de La Peña, el que considera casi todas las variables citadas para los otros métodos y además, a los aditivos:

Ecuación 4.39 Agua neta método de La Peña.(PROIN S.L., 2010) p44

$$W = An = Kw + 13 \cdot \sqrt{\Delta} - \sqrt{40 \cdot D} - Air/2 - K'w \quad \text{Siendo:}$$

K_w: Contenido de agua según continuidad de granulometría, tipo de áridos (rodados, triturados, etc.) y forma de las partículas, en litros/m³.

Air: Contenido de aire atrapado o incluido, en litros/m³.

K_w': Término que depende del aditivo plastificante o fluidificante y cuyo valor está entre 10 y 30.

Los valores de K_w se dan en la siguiente tabla:

Tabla 4.39 Contenido de agua método La Peña.
(PROIN S.L., 2010)

Características del árido que se va a utilizar			
Origen	Proporción granos con coeficiente de forma MALO	Agua, Litros/m ³	
		Tipo de granulometría	
		Continua	Discontinua
Rodado	Sin lascas	182	172
	Algunas lascas	187	177
	Muchas lascas	192	182
Mezcla	Sin lascas	192	182
	Algunas lascas	197	187
	Muchas lascas	202	192
Triturado	Sin lascas	202	192
	Algunas lascas	207	197
	Muchas lascas	212	202

Cabe aclarar que el concepto de granulometría discontinua se refiere a una mezcla granulométrica con gruesos y finos, pero casi sin presencia de partículas de tamaño intermedio, y que fue propuesto por Feret para lograr mayor compacidad. Para sistematizarlo podemos sumar los porcentajes retenidos parciales de las series intermedias (por ejemplo 4.76, 2.36 y 1.19 mm).

La proporción de granos con mal coeficiente de forma puede resultar un criterio subjetivo, por lo que conviene dar un valor a la proporción con muchas lascas (%C_{PLANAS}), por ejemplo 60% y determinar la proporción de agregados aplanados

por inspección visual o algún método de laboratorio, por ejemplo ASTM D4791. De esta manera, la fórmula nos quedaría en:

Ecuación 4.40 Agua método de La Peña.

$$An = 172 + 10 \cdot \left(G_{CONT} + G_T + F_T + \frac{\%P_{PLANAS}}{\%C_{PLANAS}} \right) + 13 \cdot \sqrt{\Delta} - \sqrt{40 \cdot D} - \frac{Air}{2} - K'w$$

Siendo las variables en común las mismas que para las ecuaciones 4.9 y 4.39 y:

G_{CONT} ?: Es la granulometría total continua (verdadero=1, falso=0).

$\%P_{PLANAS}$: Porcentaje o fracción de partículas de forma aplanada.

$\%C_{PLANAS}$: Porcentaje o fracción de comparación que determina que tanta proporción de partículas aplanadas representa “muchas lajas”.

Con esto en mente, hemos elaborado una tabla para conocer las semejanzas y diferencias en el cálculo del agua neta con estos métodos.

Tabla 4.40 Comparativas agua neta diversos métodos

Δ	D	Aire incluido	D, Fuller, Bolomey	Grueso triturado?	Fino triturado?	Seco?	Espesor mojado	a, solidos finos incluye cemento	Esféricidad ϕ	D, Faury	P, efecto pared	VPot?	Aire atrap/inc	Granu. continua?	%PLANAS (ϕ =max)	ACI	Fuller	Bolomey	Faury	LaPeña
cm	mm	0/3	mm	0/1	0/1	0/1	mm	Coef	Coe f	mm	Coe f	0/1	l/m ³	0/1	%	l/m ³	l/m ³	l/m ³	l/m ³	l/m ³
All	ACI	Fuller, Faury, Peña			Fuller	Bolomey		Faury			LaPeña		Agua neta teórica							
5	12.5	0	11.25	1	0	1	.051	.115	.6	16.67	.9	1	25.0	1	30%	214	208	223	226	191
8.66	25	0	22.5	1	0	0	.06	.123	.6	33.33	.9	1	15.0	1	30%	203	198	196	209	196
8.66	50	0	45	0	1	0	.072	.123	.6	66.67	.9	1	5.0	1	30%	169	170	171	183	188
8.66	150	0	135	1	0	0	.095	.123	.6	200	.9	1	2.0	1	30%	135	151	135	150	157
4	12.7	0	11.43	1	1	0	.051	.122	.6	16.93	.9	1	24.8	1	30%	210	215	221	252	198
4	25.4	0	22.86	1	0	0	.061	.112	.6	33.87	.9	1	14.8	1	30%	189	187	198	195	184
4	50.8	0	45.72	0	0	0	.072	.102	.6	67.73	.9	1	4.9	1	30%	155	154	175	162	165
4	101.6	0	91.44	0	0	0	.086	.102	.6	135.5	.9	1	2.6	1	30%	126	137	151	143	148
8	12.7	0	11.43	1	0	0	.051	.122	.6	16.93	.9	1	24.8	1	30%	224	218	221	235	199
8	25.4	0	22.86	1	0	0	.061	.122	.6	33.87	.9	1	14.8	1	30%	201	196	196	206	194
8	50.8	0	45.72	0	0	0	.072	.112	.6	67.73	.9	1	4.9	1	30%	167	161	173	169	176
8	101.6	0	91.44	0	0	0	.086	.112	.6	135.5	.9	1	2.6	1	30%	136	144	149	149	159
16	12.7	0	11.43	1	0	0	.051	.132	.6	16.93	.9	1	24.8	1	30%	238	237	218	255	214
16	25.4	0	22.86	1	0	0	.061	.132	.6	33.87	.9	1	14.8	1	30%	211	213	194	224	210
16	50.8	0	45.72	0	0	0	.072	.122	.6	67.73	.9	1	4.9	1	30%	177	176	171	178	191
16	101.6	0	91.44	0	0	0	.086	.122	.6	135.5	.9	1	2.6	1	30%	152	157	147	156	174

Observamos en esta tabla lo siguiente:

- Los valores mayores tienen relleno en verde, los menores en rojo.
- El concepto de tamaño máximo del agregado (D) difiere para los métodos ACI, Faury, Fuller y Bolomey, al no especificar la granulometría real hemos asumido que

para Fuller y Bolomey es 0.9 veces respecto a ACI y para Faury 4/3 partes que ACI, sin embargo para nuestro programa calculamos los valores reales de D. Si no se realiza esta corrección, la cantidad de agua neta nos dará valores más disímiles.

- En el método **ACI** no se especifica si se refiere a agregados triturados, mixtos o rodados, se podría asumir que se trata de rodados si consideramos que la tabla 6.3.6 de ACI 211.1 (volumen de agregado grueso) se refiere a agregados rodados. Debido a la enorme discontinuidad de las curvas del agua de mezcla, las formulas que deducimos varían hasta en ± 5 litros, sin embargo para la mayoría de valores de la tabla, esta diferencia es menor a 2 litros. En todo caso hemos elaborado para el programa, una función de interpolación de la tabla.
- Debido a la forma de la curva en el método de **Fuller**, la cantidad de agua aumenta notoriamente para tamaño máximo superior a 50mm, esta puede ser una de las causas por las que se recomienda este método solo para agregados menores a 70mm.
- Para el método de **Bolomey** se considera al agua que mojará la superficie de las partículas, sin tomar en cuenta la consistencia, por lo que algunos autores recomiendan utilizar la tabla de ACI (6.33 ó A1.5.3.3 de ACI 211.1), de hecho utilizaremos interpolación de la tabla ACI en nuestro programa.
- El método de **Faury** es el que más agua requiere, especialmente al tratarse de agregados gruesos pequeños y materiales triturados, esto se explica porque el coeficiente K tiene valores elevados. Puede ser también que, al ser el volumen de huecos lo que se contempla en la fórmula, se deba descontar el porcentaje de aire atrapado o incluido.
- Finalmente, el método de **La Peña** nos arroja la menor cantidad de agua para el menor tamaño máximo del agregado y viceversa.

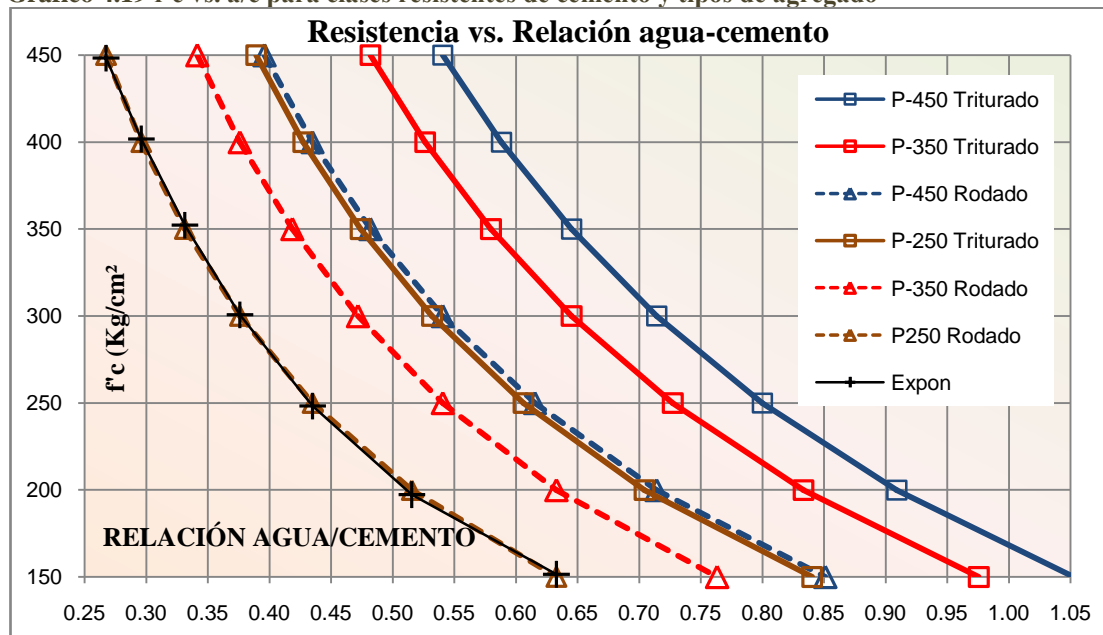
4.4.4 Relación agua cemento

Para estimarla analizamos los criterios ACI 211.1 tabla A1.5.3.4a y según DIN. Para el programa de dosificación buscamos el modelo parabólico, logarítmico y exponencial que mejor se ajuste a las tablas.

Tabla 4.41 f'c vs. a/c para clases resistentes de cemento y tipos de agregado

rAC Relación Agua/Cemento peso			Según DIN para las clases resistentes de cemento					
Tabla 2	Portl I ACI 211.1		P-250		P-350		P-450	
f'c(Kg/cm ²)	Sin aire	Con aire	Rodado	Triturado	Rodado	Triturado	Rodado	Triturado
450	0.383	0.29	0.267	0.389	0.341	0.482	0.396	0.541
400	0.427	0.34	0.296	0.427	0.376	0.526	0.435	0.588
350	0.482	0.40	0.331	0.474	0.418	0.580	0.482	0.645
300	0.549	0.46	0.376	0.532	0.472	0.645	0.541	0.714
250	0.618	0.53	0.435	0.606	0.541	0.727	0.615	0.800
200	0.700	0.61	0.515	0.704	0.633	0.833	0.714	0.909
150	0.800	0.71	0.633	0.840	0.763	0.976	0.851	1.053

Gráfico 4.19 f'c vs. a/c para clases resistentes de cemento y tipos de agregado



Las expresiones para cada caso serían:

$$a/c = m + \sqrt[n]{f'c} / p \quad \text{Ecuación 4.41 relación a/c modelo parabólico}$$

$$f'c = m - n \cdot \ln(a/c) \quad \text{Ecuación 4.42 f'c modelo logarítmico}$$

$$f'c = \frac{m}{n^{a/c}} + p \quad \text{Ecuación 4.43 f'c modelo exponencial}$$

Siendo:

a/c: Relación agua cemento

f'c: Resistencia mínima esperada (Kg/cm²)
 m, n y p: Coeficientes para el ajuste del modelo.

Obtenemos el mejor ajuste de m, n y p en la siguiente tabla y verificamos que el modelo exponencial es el más versátil.

Tabla 4.42 Coeficientes parabólico, logarítmico y exponencial de las ecuaciones 4.41-4.43

	parabólica P-250 Rodado	m= 0.26469 n= 489.781 p= 0.32206	Logarit P-250 Rodado	-25 347	Expon P-250 Rodado	m= 1333.5 n= 141 p= 93.269	Expon P-350 Rodado	m= 1417 n= 53.43 p= 83.62	Expon P-450 Rodado	m= 1487.2 n= 32.864 p= 75.382				
f'c Kg/cm ²	Agua/cemento			f'c	f'c	f'c	A/C	f'c	A/C	f'c				
	Tabla	Calc	Dif ²	Calc	Dif ²	Calc	Dif ²	% Dif	Tabla	Calc	Dif ²	Tabla	Calc	Dif ²
450	0.267	0.270	0.00003	432.4	974	448.4	3.27	-0.004	0.341	448	3.344	0.396	448	2.715
400	0.296	0.290	0.00010	397.3	10.7	401.7	2.83	0.004	0.376	401	1.527	0.435	401	1.328
350	0.331	0.325	0.00003	358.3	159	352.3	5.25	0.007	0.418	352	3.454	0.482	352	2.882
300	0.376	0.377	0.00000	314.3	589	300.8	0.59	0.003	0.472	301	0.378	0.541	301	0.302
250	0.435	0.443	0.00007	263.8	549	248.3	2.73	-0.007	0.541	249	1.886	0.615	249	1.544
200	0.515	0.525	0.00010	204.8	43.9	197.3	7.30	-0.014	0.633	198	4.488	0.714	198	3.532
150	0.633	0.623	0.00009	133.7	815	151.4	2.41	0.010	0.763	152	2.624	0.851	152	2.270
Suma			0.00043		3142		24.39				17.7			14.573

De la ecuación 4.43 obtenemos a/c:

$$a/c = \frac{\ln n - \ln f'c - p}{\ln(n)}$$

Ecuación 4.44 relación agua cemento

Con m, n y p procedemos a buscar alguna relación de la clase resistente con estos.

Tabla 4.43 ecuaciones de m, n y p considerando la clase resistente

Valores de m, n y p

n	base	8591.2	d
		189.07	e
250	141.001	141	0
350	53.4332	53.385	0
450	32.8643	32.926	0
		Suma	
		cuadrados	0.01

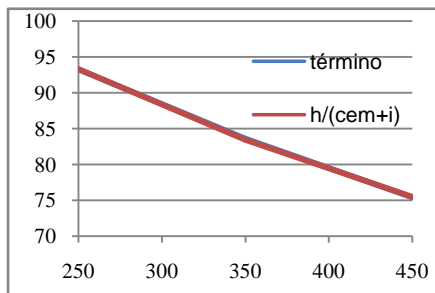
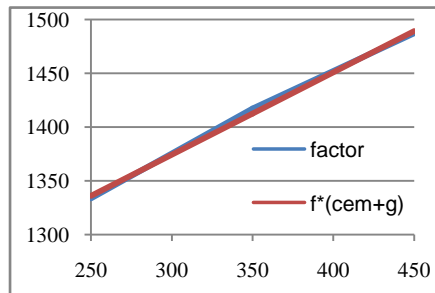
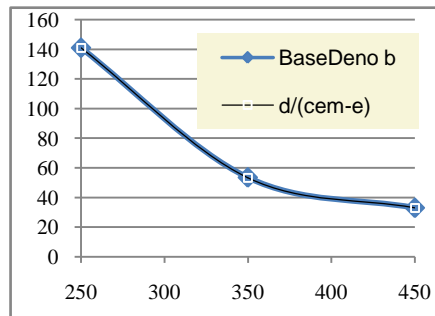
$$n = \frac{8590}{cem - 189}$$

m	factor	0.7682	f
		1488.9	g
250	1333.52	1335.8	5.36
350	1417.28	1412.7	21.4
450	1487.16	1489.5	5.36
		Suma	
		cuadrados	32.2

$$m = 0.768 \cdot cem + 1490$$

p	término	78903	h
		595.38	i
250	93.2694	93.334	0
350	83.6185	83.461	0.02
450	75.3815	75.477	0.01
		Suma	
		cuadrados	0.04

$$p = \frac{78900}{cem + 595.4}$$



Sustituyendo m, n y p en la ecuación 4.43 tenemos:

$$f'c = \frac{0.768 \cdot \text{cem} + 1490}{\left(\frac{8590}{\text{cem} - 189}\right)^{a/c}} + \frac{78900}{\text{cem} + 595.4}$$

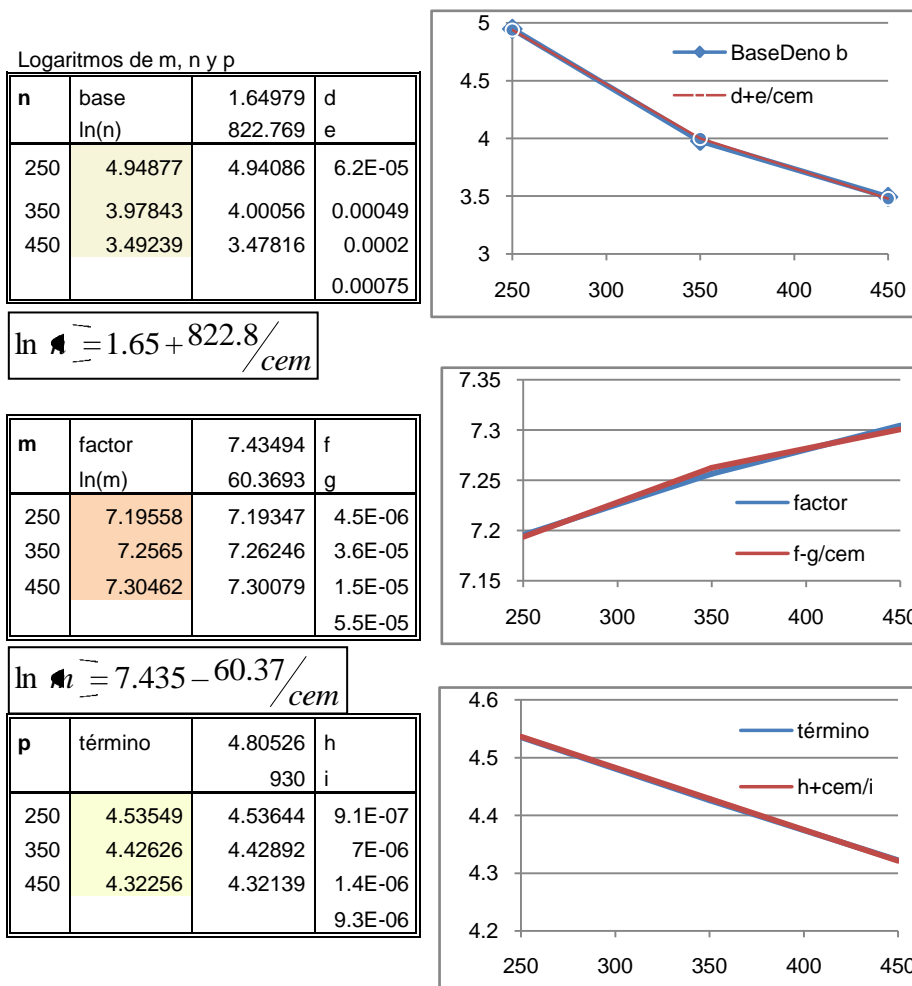
Ecuación 4.45 f'c a partir de relación agua cemento y clase resistente

Siendo:

Cem: Clase resistente del cemento (Kg/cm²)

De la misma manera hallamos los coeficientes para encontrar la relación agua cemento desde la ecuación 4.44:

Tabla 4.44 ecuaciones de m, n y p para obtener agua-cemento



Obteniendo:

$$a/c = \frac{7.435 - \frac{60.37}{cem} - \ln\left(f'c - \frac{78900}{cem + 595.4}\right)}{1.65 + \frac{822.8}{cem}}$$

Ecuación 4.46 relación agua cemento a partir de f'c y clase resistente

En la tabla 4.41 observamos que, para obtener la misma resistencia en hormigón con aire incluido se debe reducir la relación agua cemento en 0.09 unidades. Esto es impracticable para obtener resistencias altas con cementos de clase resistente baja ya que la relación agua cemento no se puede reducir a menos del mínimo requerido para hidratar el cemento. Por lo tanto, en el programa se observarán las advertencias para evitar este inconveniente.

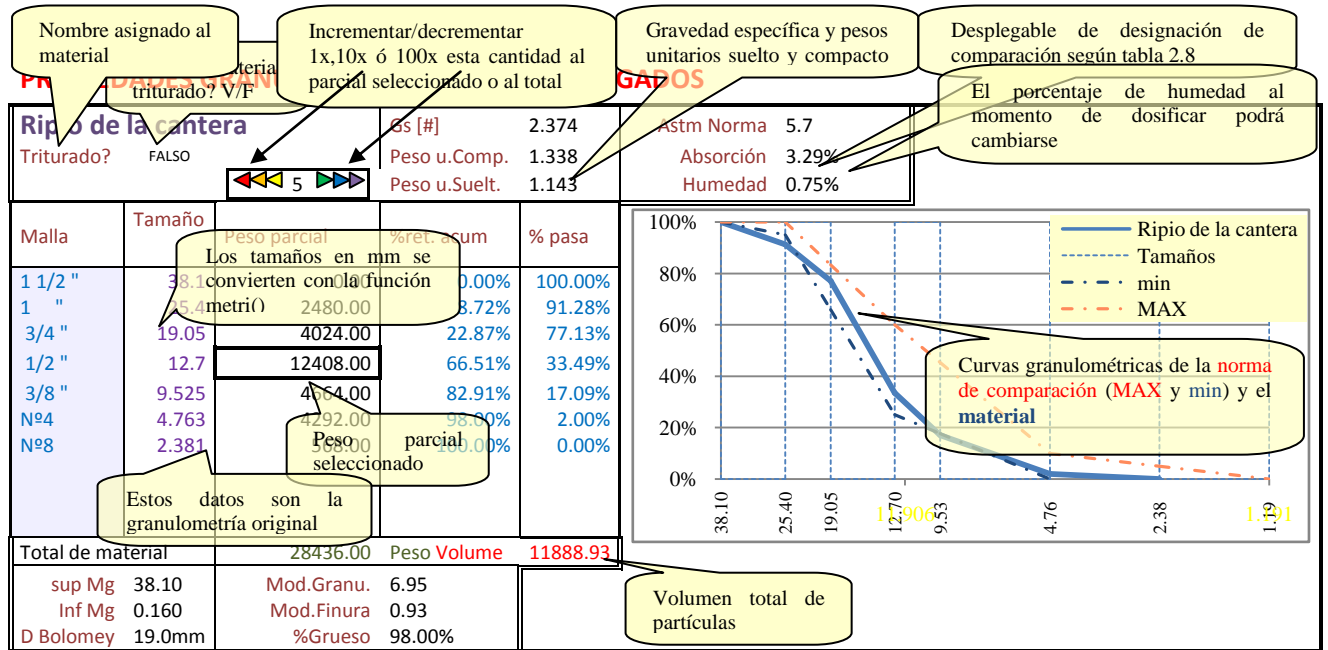
4.4.5 Programa de dosificación de hormigones

El programa de dosificación está incorporado dentro de una hoja electrónica de Microsoft Excel con macros, sus características son:

- Capacidad de trabajar con hasta 4 agregados granulares, para realizar la mezcla óptima de estos según varios métodos.
- Se puede optar 4 métodos: ACI, Fuller, Bolomey y Faury.
- Las tablas principales para el cálculo de los parámetros de agua neta, relación agua cemento, volumen de agregado grueso, características físicas de los agregados como tamaño máximo, módulo granulométrico y módulo de finura, etc han sido asimilados a funciones.
- Adicionalmente a considerar el desempeño mecánico, también se toma en cuenta las condiciones de exposición a los agentes externos según la instrucción EHE y las normas NEC y ACI para calcular los valores normados.
- En caso de tener una combinación de condiciones que se encuentren fuera de los límites razonables, se proporciona un mensaje de advertencia.
- Las tablas, coeficientes y demás variables pueden ser retroalimentadas de acuerdo a los resultados obtenidos en dosificaciones reales y así poder tener un comportamiento más preciso a futuro.

Las propiedades de los agregados se ingresan en una hoja electrónica con las siguientes características:

Gráfico 4.20 Descripción de tabla Propiedades de los agregados

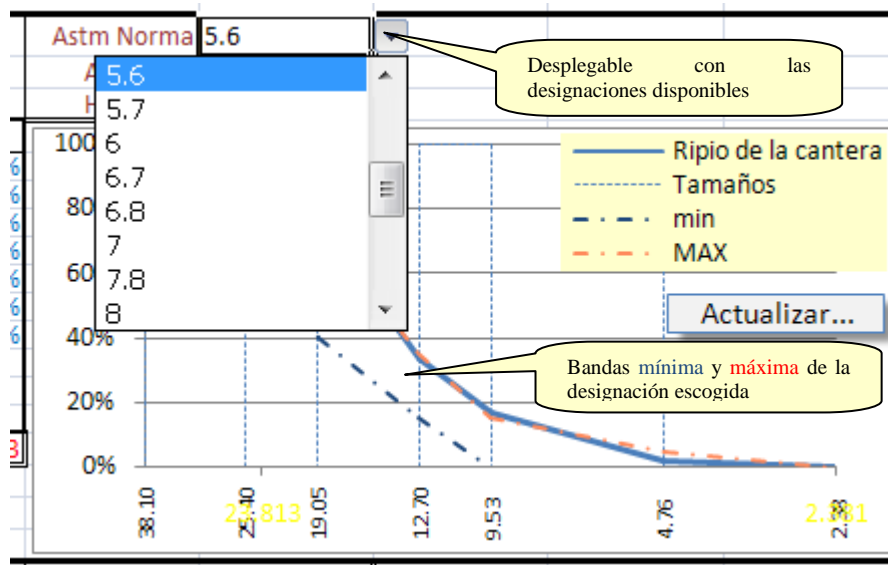


Los datos que debemos ingresar son:

- Nombre del material, es el nombre que asignamos a cada material petreo.
- Es triturado, suponemos que todo el material es triturado (Verdadero→1) o rodado (Falso→0) o podemos ingresar un porcentaje de trituración.
- Gravedad específica y pesos unitarios suelto y compacto referidos al peso unitario del agua (adimensional).
- Granulometría del material, en las columnas de tamaño y peso parcial ingresamos los valores de una muestra.

La designación de comparación se refiere a los materiales de la tabla 2.2 que pueden estar ceñidos a bandas mínimo y máximo porcentaje que pasa según normas, o definidos por el usuario. Al hacer click en esta celda nos aparecerá un desplegable con todos los nombres de materiales comerciales ingresados en la tabla 2.2, cuyas bandas se graficarán con líneas cortadas junto a la granulometría del material a usar

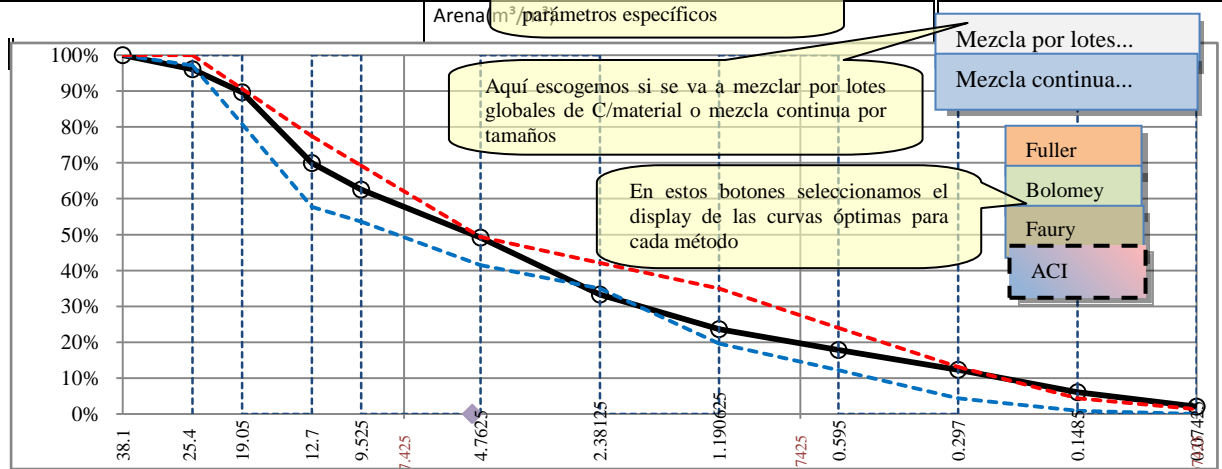
Gráfico 4.21 Desplegable de designaciones de materiales



- En la columna Malla se puede ingresar los valores numéricos de la abertura en pulgadas, por ejemplo 1.5 (=1 ½" =38.1mm) o su numeración en la serie de Tyler, digamos N°8 (=2.381mm), en la siguiente columna de Tamaño estos valores se convertirán a milímetros con la función $\text{Valor}=\text{Metri}(\text{Malla_en_pulgadas})$ que transforma tanto valores en pulgadas como numeración a milímetros. Por supuesto se puede escribir directamente el valor en milímetros en la columna Tamaño.
- Total de material es la suma en peso o volumen de partículas de lo empleado para el análisis granulométrico, no es el peso con el que vamos a mezclar.
- Se calcula el módulo granulométrico y el de finura con los valores de SupMg, InfMg y Dmétodo con la función $\text{MG}(\text{Tams}, \text{RAs}, \text{SUP}, \text{inf}, \text{t100})$ descritas en el anexo 1. También se calcula porcentaje de material grueso de acuerdo al valor de tamaño mínimo de grueso enunciado en la tabla de dosificación.


Gráfico 4.22 Tabla de dosificación de hormigones
DOSIFICACION DE HORMIGONES METODOS ACI, FULLER, BOLOMEY Y FAURY

Método		ACI	Parámetros calc. mezcla agregados		
Solicitaciones			Norma para exposición	ACI-NEC	
Acentamiento (cm)	10	Nivel de exposición ACI	Ninguna		
Resistencia (Kg/cm²)	350	Máxima relación A/C	Cualquiera		
Cant. de cemento (Kg/m³)	0.12	Cemento recomendado	Cualquiera		
FAURY o ACI			Nivel de exposición FHE	IIIb	
Gravedad específica	3.050	Máxima relación A/C	0.5		
Clase cemento (Kg/cm²)	250	MínContCemento (Kg/m³)	325		
Mínima relación A/C	0.25	Mín.Resistencia (Kg/cm²)	306		
FULLER/BOLOMEY			FAURY		
Baja trabajabilidad?	FALSO	Aire incluido? (0-3)	0	Radio de armaduras, r(mm)	25
Conten.cemento (Kg/m³)	300	Relación A/C calculada	0.473	Radio del encofrado, R(mm)	50
Tamaño máximo (mm)	18.78	Tamaño máximo (mm)	25.40	Tamaño máximo, D (mm)	24.00
Término a Bolomey	0.133	VolGranelGrueso (lt/m³)	0.640	Vibración potente?(V/F)	VERDADERO
Aire atrapado	1.50%	Aire Atrapado	1.50%	Valor de efecto pared	0.768
Agua neta (litros/m³)	196.87	Agua neta (litros/m³)	194.18	A (% quepasa malla D/2)	0.725
Relación A/C normada ≤	0.473	Volúmenes unitarios de partículas		K (Numerador Vhuecos)	0.373
f'c normada (Kg/cm²) ≥	350	Grueso(m³/m³)	0.3695	Volumen huecos(litros/m³)	204.595
f'c estimada (Kg/cm²) ≥	350.6	Cemento (Kg/m³)	0.1347	Huecos-Aire atrapado	189.60



Mezcla por lotes		Porcentaje	PesoSeco(Kg)	Humedad(%)	PesoHúmedo(Kg)	PesoSSS(Kg)	VolSuelto(lit)	Peso unitario Kg/m³
Ripio de la cantera		45.1%	84.35	0.75%	84.98	87.13	73.80	2141.32
Arena		46.3%	84.25	0.56%	84.73	87.51	62.23	
MPasa200		0.0%	0.00	0.83%	0.00	0.00	0.00	
Limo		8.6%	14.63	0.00%	14.63	17.86	11.15	
Agua (litros)			24.41		24.28	23.30		
Cemento (Kg)			49.31					Aire (litros) 1.80
Gradación continua por incremento de peso de materiales								Condición Seco
Control para variar en ±0.1,1 ó 10% los porcentajes de cada material								
Tamaño		Total	Arena	Mat Seco	Aumentar Total			
38.1	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0	
25.4	7.36	3	10.36	4.7625	12.09	0	12.09	
19.05	11.94	0	11.94	2.38125	26.29	0	26.29	
12.7	36.81	0	36.81	0.9525	4.48	0	4.48	
9.525	13.84	10	23.84	0.595	0.82	0	0.82	
4.7625	12.73	0	12.73	0.297	0.71	0	0.71	
2.38125	1.68	0	1.68	0.1485	1.94	0	1.94	
	0.00	0	0.00	0.07425	0.00	0	0.00	
	0.00	0	0.00	0.037125	0.84	0	0.84	
	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
	84.35		97.35		84.25		86.75	
MPasa200								
Tamaño	Mat Seco	Aumentar	Total	Limo	Mat Seco	Aumentar	Total	
4.7625	0.00	0	0.00	4.7625	0.00	0	0.00	
0.297	0.00	0	0.00	2.38125	0.82	0	0.82	
0.1485	0.00	0	0.00	1.190625	1.94	0	1.94	
0.07425	0.00	0	0.00	0.595	1.66	0	1.66	
0.037	0.00	0	0.00	0.297	2.52	0	2.52	
	0.00	0	0.00	0.1485	3.15	0	3.15	
	0.00	0	0.00	0.07425	1.76	0	1.76	
	0.00	0	0.00	0.037125	2.78	0	2.78	
	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
	0.00	0	0.00		14.63		14.63	
1.0535018	Agua para mat Seco		25.72	Cantidad real a fabricar(m³)		0.1264		
	Cemento		51.95	Peso unitario (Kg/m³)		2141.52		

En la primera parte de este cuadro ingresamos las sollicitaciones de resistencia, asentamiento, cantidad de concreto y condiciones a las que estará expuesto el hormigón, según los requisitos de los códigos ACI, NEC y EHE para conocer la máxima relación agua cemento, mínimo contenido de cemento, mínima resistencia necesaria, tipo de cemento a emplear y requisitos de inclusión de aire. También ingresamos el tamaño mínimo de los agregados grueso y fino para calcular los parámetros de la mezcla de agregados. Adicionalmente hay que poner las variables específicas para cada método. Los valores en azul los calculará el programa, aquellos en **negro** son campos requeridos a ingresar y los valores en **canela** no aplican para el método escogido.

En el gráfico tenemos la curva granulométrica de la mezcla, la que se puede mostrar tanto para el empleo de lotes de material como para el uso de granulometría continua. Para usar lotes de material, tal como están, simplemente se determinan sus porcentajes y se corrigen escribiendo sus nuevos porcentajes de participación en las casillas de porcentaje de la segunda parte del cuadro también se puede modificar mediante el control  .

Para realizar gradación continua por incremento de materiales ingresamos en las columnas de aumentar la cantidad adicional de material (siempre positivo) que se mezclará con los lotes para obtener la curva deseada.

Finalmente hemos hecho un resumen de las mezclas realizadas que mostramos en las siguientes páginas.

Tabla 4.45 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 0% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.64

Material fino pasa N°200 0%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00 [litros/m³]	
Resistencia	237.50 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49% [%]	
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.640 [#]	
MatFinoPasa#200	0	Vol ripio gravel	0.6553 [m³/m³]	
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 6.00% [%]
Cuantía/agregado	52.78% [%]	Cuantía/agregado	47.22% [%]	F<200/are(vol) 0% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.4899999	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 (-)mm	Módulo de finura	2.960 [#]	
Peso rip se comp.	876.84 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 363.725
VolMatExcpAre	674.62	VolAgFinoTotal	325.38	Para 0.11 m³
Peso arena grues	775.32	Peso Limo<60	0.000	Agua 27.26 Kg
Paraena+LimoSecos	775.32 Kg/m³	%ArenaACI	47.22%	Ripio 100.62 Kg
Agua mezcla	247.81 l/m³	%ArenaGráfico	45.00%	Arena+limo 82.32 Kg
Ripio natural	883.41 Kg/m³		914.7 Kg/m³	Cemento 33.52 Kg
ArenaNat+LimoNat	779.66 Kg/m³		748.4 Kg/m³	
Cemento	304.69 Kg/m³			
PesoUnitTotal	2215.57 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	19.757
	1"	10.976	16	17.928
	¾"	14.635	30	13.903
	½"	23.782	60	18.294
	3/8"	19.574	100	7.500
	N• 4	31.648	200	4.939
			Pasa 200	0.000
			Limo	0.000

Tabla 4.46 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 0% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.51

Material fino pasa N°200 0%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00 [litros/m³]	
Resistencia	328.57 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49% [%]	
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.510 [#]	
MatFinoPasa#200	0	Vol ripio granel	0.6553 [m³/m³]	
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 6.00% [%]
Cuantía/agregado	54.83% [%]	Cuantía/agregado	45.17% [%]	F<200/are(vol) 0% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.38278 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.49	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 (<-)mm	Módulo de finura	2.960 [#]	
Peso rip se comp.	876.84 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 363.725
VolMatExcpAre	700.37	VolAgFinoTotal	299.63	Para 0.11 m³
Peso arena grues	713.96	Peso Limo<60	0.000	Agua 26.99 Kg
Paraena+LimoSecos	713.96 Kg/m³	%ArenaACI	45.17%	Ripio 96.88 Kg
Agua mezcla	245.39 l/m³	%ArenaGráfico	45.00%	Arena+limo 79.27 Kg
Ripio natural	883.41 Kg/m³		880.8 Kg/m³	Cemento 42.06 Kg
ArenaNat+LimoNat	717.96 Kg/m³		720.6 Kg/m³	
Cemento	382.35 Kg/m³			
PesoUnitTotal	2229.11 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	19.024
	1"	10.569	16	17.263
	¾"	14.092	30	13.387
	½"	22.900	60	17.615
	3/8"	18.848	100	7.222
	N• 4	30.474	200	4.756
			400	0.000
			Limo	0.000

Tabla 4.47 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 0% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.38

Material fino pasa N°200 0%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77			
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00 [litros/m³]		
Resistencia	450.00 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49% [%]		
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.380 [#]		
MatFinoPasa#200	0	Vol ripio granel	0.6553 [m³/m³]		
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60	
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural	0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción	6.00% [%]
Cuantía/agregado	58.67% [%]	Cuantía/agregado	41.33% [%]	F<200/are(vol)	0% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo	
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento	3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.4899999	GEspBulkLimo	2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³		
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³		
Tamaño máximo	25.4 (<-)mm	Módulo de finura	2.960 [#]		
Peso rip se comp.	876.84 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso	363.725
VolMatExcpAre	743.74	VolAgFinoTotal	256.26	Para	0.11 m³
Peso arena grues	610.62	Peso Limo<60	0.000	Agua	26.55 Kg
Paraena+LimoSecos	610.62 Kg/m³	%ArenaACI	41.33%	Ripio	90.60 Kg
Agua mezcla	241.32 l/m³	%ArenaGráfico	45.00%	Arena+limo	74.12 Kg
Ripio natural	883.41 Kg/m³		823.6 Kg/m³	Cemento	56.45 Kg
ArenaNat+LimoNat	614.04 Kg/m³		673.9 Kg/m³		
Cemento	513.16 Kg/m³				
PesoUnitTotal	2251.93 Kg/m³				
	Ripio	Pesos parciales agregados(Kg)		Arena	
	1½"	0.000	N• 8	17.790	
	1"	9.883	16	16.142	
	¾"	13.178	30	12.519	
	½"	21.414	60	16.472	
	3/8"	17.625	100	6.753	
	N• 4	28.496	200	4.447	
			Pasa 200	0.000	
			Limo	0.000	

Tabla 4.48 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 5% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.64

Material fino pasa N°200 5%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00 [litros/m³]	
Resistencia	237.50 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49% [%]	
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.640 [#]	
MatFinoPasa#200	5 %	Vol ripio granel	0.6423 [m³/m³]	
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 6.00% [%]
Cuantía/agregado	51.73% [%]	Cuantía/agregado	48.27% [%]	F<200/are(vol) 5% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.49	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 mm	Módulo de finura	3.090 [#]	
Peso rip se comp.	859.44 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 356.51
VolMatExcpAre	667.40	VolAgFinoTotal	332.60	
Peso arena grues	763.73	Peso Limo<60	26.211	
Parena+LimoSecos	792.51 Kg/m³	%ArenaACI	48.27%	Para 0.116 m³
Agua mezcla	248.24 l/m³	%ArenaGráfico	48.00%	Agua 28.80 Kg
Ripio natural	865.89 Kg/m³		863.4 Kg/m³	Ripio 100.15 Kg
ArenaNat+LimoNat	794.47 Kg/m³		797.0 Kg/m³	Arena+limo 92.45 Kg
Cemento	304.69 Kg/m³			Cemento 35.34 Kg
PesoUnitTotal	2213.28 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	22.727
	1"	10.400	16	20.801
	¾"	14.253	30	16.564
	½"	23.883	60	16.371
	3/8"	19.453	100	5.910
	N• 4	32.164	200	4.378
			Pasa 200	2.322
			Limo	

Tabla 4.49 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 5% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.51

Material fino pasa N°200 5%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta		195.00 [litros/m³]
Resistencia	328.57 Kg/cm²	Aire atrapado		1.49% [%]
Asentamiento	8 cm	Relación A/C		0.510 [#]
MatFinoPasa#200	%	Vol ripio granel		0.6423 [m³/m³]
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 6.00% [%]
Cuantía/agregado	53.74% [%]	Cuantía/agregado	46.26% [%]	F<200/are(vol) 5% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.49	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 mm	Módulo de finura	3.090 [#]	
Peso rip se comp.	859.44 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 356.51
VolMatExcpAre	693.15	VolAgFinoTotal	306.85	
Peso arena grues	704.60	Peso Limo<60	24.180	
Paraena+LimoSecos	731.15 Kg/m³	%ArenaACI	46.26%	Para 0.11 m³
Agua mezcla	245.80 l/m³	%ArenaGráfico	46.00%	Agua 27.04 Kg
Ripio natural	865.89 Kg/m³		863.4 Kg/m³	Ripio 94.97 Kg
ArenaNat+LimoNat	732.96 Kg/m³		735.5 Kg/m³	Arena+limo 80.90 Kg
Cemento	382.35 Kg/m³			Cemento 42.06 Kg
PesoUnitTotal	2227.00 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	20.050
	1"	10.201	16	18.291
	¾"	13.718	30	14.422
	½"	22.512	60	14.246
	3/8"	18.467	100	4.710
	N• 4	30.074	200	4.197
			Pasa 200	2.032
			Limo	2.95

Tabla 4.50 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 5% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.38

Material fino pasa N°200 5%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00 [litros/m³]	
Resistencia	450.00 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49% [%]	
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.380 [#]	
MatFinoPasa#200	5 %	Vol ripio granel	0.6403 [m³/m³]	
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 6.00% [%]
Cuantía/agregado	57.32% [%]	Cuantía/agregado	42.68% [%]	F<200/are(vol) 5% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.49	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 mm	Módulo de finura	3.110 [#]	
Peso rip se comp.	856.77 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 355.4
VolMatExcpAre	735.41	VolAgFinoTotal	264.59	Para 0.116 m³
Peso arena grues	607.53	Peso Limo<60	20.880	Agua 28.04 Kg
Paraena+LimoSecos	630.45 Kg/m³	%ArenaACI	42.68%	Ripio 99.73 Kg
Agua mezcla	241.74 l/m³	%ArenaGráfico	42.50%	Arena+limo 73.71 Kg
Ripio natural	863.19 Kg/m³		859.7 Kg/m³	Cemento 59.53 Kg
ArenaNat+LimoNat	632.01 Kg/m³		635.5 Kg/m³	
Cemento	513.16 Kg/m³			
PesoUnitTotal	2250.10 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	18.558
	1"	11.274	16	16.824
	¾"	14.743	30	13.008
	½"	23.415	60	12.835
	3/8"	19.426	100	4.328
	N• 4	30.873	200	3.622
			Pasa 200	1.847
			Limo	2.691

Tabla 4.51 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 10% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.64
 Material fino pasa N°200 10%

A. Solicitaciones			A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO	[boole]	Agua neta	195.00	[litros/m³]
Resistencia	237.50	Kg/cm²	Aire atrapado	1.49%	[%]
Asentamiento	8	cm	Relación A/C	0.640	[#]
MatFinoPasa#200		%	Vol ripio granel	0.6463	[m³/m³]
B. Condiciones Agregado grueso			B. Condiciones Agregado fino		
Humedad natural	0.75%	[%]	Humedad natural	0.56%	[%]
Absorción	3.29%	[%]	Absorción(3.767)	4.50%	[%]
Cuantía/agregado	52.06%	[%]	Cuantía/agregado	47.94%	[%]
C. Características Agregado grueso			C. Características Agregado fino		
Gravedad sp Bulk	2.41071	[#]	Gravedad sp Bulk	2.382775	[#]
Gravedad sp SSS	2.4899983		Gravedad sp SSS	2.4899999	
Peso unit. Suelto	1143	Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354	Kg/m³
Peso unit. Comp.	1338	Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552	Kg/m³
Tamaño máximo	25.4	mm	Módulo de finura	3.050	[#]
C. Características Cemento y limo					
Peso rip se comp.	864.79	Kg/m³	Divisor absorción	1	
VolMatExcpAre	669.62	litros	VolAgFinoTotal	330.38	
Peso arena grues	729.67	Kg	Peso Limo<60	52.422	
Parena+LimoSecos	787.22	Kg/m³	%ArenaACI	47.94%	
Agua mezcla	256.77	l/m³	%ArenaGráfico	48.00%	
Ripio natural	871.28	Kg/m³	862.1	Kg/m³	
ArenaNat+LimoNat	786.67	Kg/m³	795.8	Kg/m³	
Cemento	304.69	Kg/m³			
PesoUnitTotal	2219.41	Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena	
	1½"	0.000	N• 8	21.925	
	1"	10.385	16	20.002	
	¾"	14.232	30	15.770	
	½"	23.848	60	15.578	
	3/8"	19.425	100	4.688	
	N• 4	32.118	200	3.033	
			Pasa 200	6.741	

Tabla 4.52 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 10% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.51

Material fino pasa N°200 10%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta		195.00 [litros/m³]
Resistencia	328.57 Kg/cm²	Aire atrapado		1.49% [%]
Asentamiento	8 cm	Relación A/C		0.510 [#]
MatFinoPasa#200	%	Vol ripio granel		0.6553 [m³/m³]
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 6.00% [%]
Cuantía/agregado	54.83% [%]	Cuantía/agregado	45.17% [%]	F<200/are(vol) 10% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.4899999	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 (-)mm	Módulo de finura	2.960 [#]	
Peso rip se comp.	876.84 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 363.725
VolMatExcpAre	700.37	VolAgFinoTotal	299.63	Para 0.11 m³
Peso arena grues	662.02	Peso Limo<60	47.309	Agua 27.03 Kg
Parena+LimoSecos	713.96 Kg/m³	%ArenaACI	45.17%	Ripio 96.61 Kg
Agua mezcla	245.74 l/m³	%ArenaGráfico	45.00%	Arena+limo 79.05 Kg
Ripio natural	883.41 Kg/m³	878.3 Kg/m³		Cemento 42.06 Kg
ArenaNat+LimoNat	713.48 Kg/m³	718.6 Kg/m³		
Cemento	382.35 Kg/m³			
PesoUnitTotal	2224.98 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	18.971
	1"	10.540	16	17.215
	¾"	14.053	30	13.350
	½"	22.836	60	13.174
	3/8"	18.795	100	3.278
	N• 4	30.389	200	3.328
			Pasa 200	5.772

Tabla 4.53 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 10% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

22

Relación agua cemento 0.38

Material fino pasa N°200 10%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta		195.00 [litros/m³]
Resistencia	237.50 Kg/cm²	Aire atrapado		1.49% [%]
Asentamiento	8 cm	Relación A/C		0.380 [#]
MatFinoPasa#200	10 %	Vol ripio granel		0.6685 [m³/m³]
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 22.05% [%]
Cuantía/agregado	59.85% [%]	Cuantía/agregado	40.15% [%]	F<200/are(vol) 10% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.49	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 mm	Módulo de finura	2.828 [#]	
Peso rip se comp.	894.50 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 371.052
VolMatExcpAre	751.06	VolAgFinoTotal	248.94	Para 0.116 m³
Peso arena grues	543.54	Peso Limo<60	45.198	Agua 28.84 Kg
Paraena+LimoSecos	593.16 Kg/m³	%ArenaACI	40.15%	Ripio 93.55 Kg
Agua mezcla	248.66 l/m³	%ArenaGráfico	46.00%	Arena+limo 79.69 Kg
Ripio natural	901.21 Kg/m³		806.4 Kg/m³	Cemento 59.53 Kg
ArenaNat+LimoNat	592.21 Kg/m³		687.0 Kg/m³	
Cemento	513.16 Kg/m³			
PesoUnitTotal	2255.23 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	19.056
	1"	10.048	16	15.418
	¾"	13.512	30	13.339
	½"	22.694	60	12.127
	3/8"	18.017	100	3.390
	N•			
	4	29.277	200	7.541
			Pasa	
			200	2.999
			Limo	5.819

Tabla 4.54 Dosificación para Agua/cemento=0.64 y 15% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

22

Relación agua cemento 0.64
Material fino pasa N°200 15%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00	[litros/m³]
Resistencia	237.50 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49%	[%]
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.640	[#]
MatFinoPasa#200	15 %	Vol ripio granel	0.6685	[m³/m³]
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural 0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción 22.05% [%]
Cuantía/agregado	53.85% [%]	Cuantía/agregado	46.15% [%]	F<200/are(vol) 15% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento 3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.49	Gravedad sp SSS	2.49	GEspBulkLimo 2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³	
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³	
Tamaño máximo	25.4 mm	Módulo de finura	2.828 [#]	
Peso rip se comp.	894.50 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso 371.052
VolMatExcpAre	681.94	VolAgFinoTotal	318.06	Para 0.116 m³
Peso arena grues	675.13	Peso Limo<60	75.356	Agua 30.18 Kg
Parena+LimoSecos	757.86 Kg/m³	%ArenaACI	46.15%	Ripio 103.74 Kg
Agua mezcla	260.21 l/m³	%ArenaGráfico	46.00%	Arena+limo 88.37 Kg
Ripio natural	901.21 Kg/m³	894.3 Kg/m³		Cemento 35.34 Kg
ArenaNat+LimoNat	754.98 Kg/m³	761.8 Kg/m³		
Cemento	304.69 Kg/m³			
PesoUnitTotal	2221.08 Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena
	1½"	0.000	N• 8	21.133
	1"	11.143	16	17.098
	¾"	14.985	30	14.793
	½"	25.167	60	13.448
	3/8"	19.980	100	3.333
	N• 4	32.468	200	2.256
			Pasa 200	6.632
			Limo	9.680

Tabla 4.55 Dosificación para Agua/cemento=0.51 y 15% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.51

Material fino pasa N°200 15%

A. Solicitaciones		A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77			
Aire incluido?	FALSO [boole]	Agua neta	195.00 [litros/m³]		
Resistencia	328.57 Kg/cm²	Aire atrapado	1.49% [%]		
Asentamiento	8 cm	Relación A/C	0.510 [#]		
MatFinoPasa#200	15 %	Vol ripio granel	0.6693 [m³/m³]		
B. Condiciones Agregado grueso		B. Condiciones Agregado fino		B. Condiciones Material fino<60	
Humedad natural	0.75% [%]	Humedad natural	0.56% [%]	Hum. Natural	0.95% [%]
Absorción	3.29% [%]	Absorción(3.767)	4.50% [%]	Absorción	22.05% [%]
Cuantía/agregado	56.00% [%]	Cuantía/agregado	44.00% [%]	F<200/are(vol)	15% [%]
C. Características Agregado grueso		C. Características Agregado fino		C. Características Cemento y limo	
Gravedad sp Bulk	2.41071 [#]	Gravedad sp Bulk	2.382775 [#]	GEspCemento	3.016 [#]
Gravedad sp SSS	2.4899983	Gravedad sp SSS	2.4899999	GEspBulkLimo	2.17026
Peso unit. Suelto	1143 Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354 Kg/m³		
Peso unit. Comp.	1338 Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552 Kg/m³		
Tamaño máximo	25.4 mm	Módulo de finura	2.820 [#]		
Peso rip se comp.	895.57 Kg/m³	Divisor absorción	1	VolAgGrueso	371.496
VolMatExcpAre	708.14	VolAgFinoTotal	291.86	Para	0.116 m³
Peso arena grues	619.26	Peso Limo<60	69.386	Agua	29.79 Kg
Parena+LimoSecos	695.44 Kg/m³	%ArenaACI	44.00%	Ripio	103.62 Kg
Agua mezcla	256.78 l/m³	%ArenaGráfico	44.00%	Arena+limo	81.41 Kg
Ripio natural	902.28 Kg/m³		893.2 Kg/m³	Cemento	44.35 Kg
ArenaNat+LimoNat	692.78 Kg/m³		701.8 Kg/m³		
Cemento	382.35 Kg/m³				
PesoUnitTotal	2234.19 Kg/m³				
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena	limo
	1½"	0.000	N• 8	19.613	8.92
	1"	11.472	16	15.727	
	¾"	15.172	30	13.507	
	½"	24.979	60	12.212	
	3/8"	19.983	100	3.264	
	N•				
	4	32.010	200	2.102	
			Pasa 200	6.070	
			Limo	8.918	

Tabla 4.56 Dosificación para Agua/cemento=0.38 y 15% de material fino

Dosificación al peso de hormigones

Relación agua cemento 0.38

Material fino pasa N°200 15%

A. Solicitaciones			A. Interpolación desde las tablas ACI 2.11.-77		
Aire incluido?	FALSO	[boole]	Agua neta		195.00 [litros/m³]
Resistencia	450.00	Kg/cm²	Aire atrapado		1.49% [%]
Asentamiento	8	cm	Relación A/C		0.380 [#]
MatFinoPasa#200		%	Vol ripio granel		0.6683 [m³/m³]
B. Condiciones Agregado grueso			B. Condiciones Agregado fino		
Humedad natural	0.75%	[%]	Humedad natural	0.56%	[%]
Absorción	3.29%	[%]	Absorción(3.767)	4.50%	[%]
Cuantía/agregado	59.83%	[%]	Cuantía/agregado	40.17%	[%]
C. Características Agregado grueso			C. Características Agregado fino		
Gravedad sp Bulk	2.41071	[#]	Gravedad sp Bulk	2.382775	[#]
Gravedad sp SSS	2.4899983		Gravedad sp SSS	2.49	
Peso unit. Suelto	1143	Kg/m³	Peso unit. Suelto	1354	Kg/m³
Peso unit. Comp.	1338	Kg/m³	Peso unit. Comp.	1552	Kg/m³
Tamaño máximo	25.4	mm	Módulo de finura	2.830	[#]
C. Características Cemento y limo					
			GEspCemento	3.016	[#]
			GEspBulkLimo	2.17026	
Peso rip se comp.	894.23	Kg/m³	Divisor absorción	1	
VolMatExcpAre	750.95		VolAgFinoTotal	249.05	
Peso arena grues	527.08		Peso Limo<60	60.428	
Paraena+LimoSecos	593.42	Kg/m³	%ArenaACI	40.17%	
Agua mezcla	251.22	l/m³	%ArenaGráfico	41.00%	
Ripio natural	900.94	Kg/m³		880.3	Kg/m³
ArenaNat+LimoNat	591.03	Kg/m³		611.7	Kg/m³
Cemento	513.16	Kg/m³			
PesoUnitTotal	2256.35	Kg/m³			
	Ripio	Pesos parciales de agregados(Kg)		Arena	
	1½"	0.000	N• 8	19.336	
	1"	12.174	16	13.607	
	¾"	15.755	30	11.100	
	½"	25.781	60	10.205	
	3/8"	19.873	100	2.698	
	N•				
	4	32.048	200	3.156	
			Pasa 200	5.261	
			Limo	8.041	

4.5. Obtención del asentamiento y peso unitario.

Luego de realizar las mezclas, se procedió a determinar el asentamiento obtenido, el peso unitario del hormigón fresco y el contenido volumétrico relativo de aire atrapado. Se elaboró un cuadro con el resumen de materiales para cada dosificación.

Tabla 4.57 Resumen de materiales en dosificaciones

Peso de materiales para el volumen realizado (Kg)									
NOMBRE	<Nº200	A/C	AGUA	RIPIO	CEMENTO	ARENA	<Nº200	LIMO	Volumen
	%		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	m ³
Cero64	0%	0.64	27.26	100.62	33.52	82.32	0.00	0.0	0.110
Cero51	0%	0.51	26.99	96.88	42.06	79.27	0.00	0.0	0.110
Cero38	0%	0.38	26.55	90.60	56.45	74.12	0.00	0.0	0.110
Cinco64	5%	0.64	28.80	100.15	35.34	86.75	2.32	3.4	0.116
Cinco51	5%	0.51	27.04	94.97	42.06	75.92	2.03	3.0	0.110
Cinco38	5%	0.38	28.04	99.73	59.53	69.18	1.85	2.7	0.116
Diez64	10%	0.64	29.78	100.01	35.34	81.00	6.74	4.6	0.116
Diez51	10%	0.51	27.03	96.61	42.06	69.32	5.77	4.0	0.110
Diez38	10%	0.38	29.39	96.34	59.94	75.81	3.39	6.2	0.120
Quince64	15%	0.64	30.18	103.74	35.34	72.06	6.63	9.7	0.116
Quince51	15%	0.51	29.79	103.62	44.35	66.42	6.07	8.9	0.116
Quince38	15%	0.38	30.15	105.63	61.58	60.10	5.26	8.0	0.120

Para el cálculo del peso unitario, se previó el empleo de uno de los moldes cilíndricos debidamente etiquetado, del cual tomamos su peso vacío (PMol [g]) y determinamos con mucho cuidado su volumen (VMol [cm³]) para ser usado en todas las dosificaciones y poder conocer de inmediato el peso unitario del hormigón fresco con el dato de peso total molde + hormigón; en la hoja de reestimaciones probables.

Con el valor de la suma de materiales que intervienen en 1 m³ de mezcla tenemos su peso unitario teórico, el que lo dividimos por el peso unitario registrado en el hormigón fresco, y esto nos da el rendimiento obtenido, que conjuntamente con el asentamiento, nos proporciona la base para las reestimaciones que fueran necesarias.

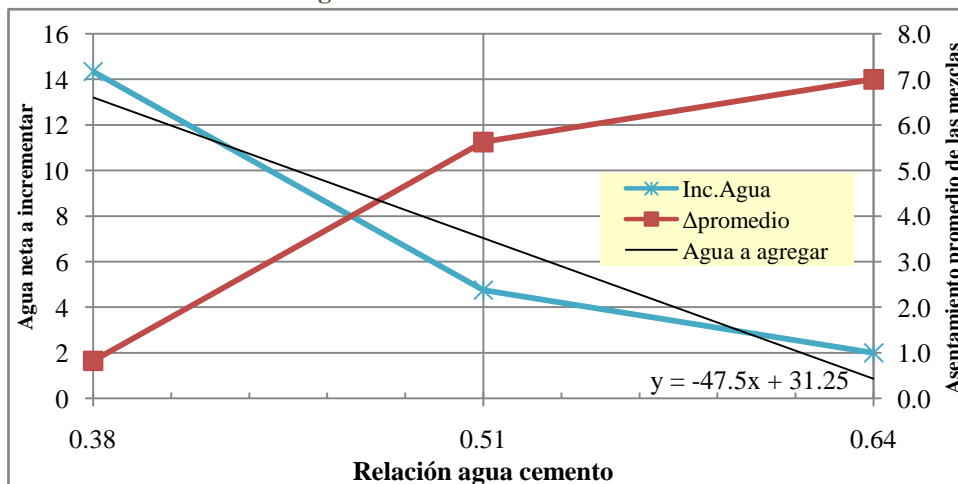
Debido a que las mezclas se hicieron para diferentes volúmenes totales, en la siguiente tabla las transformamos para 1 m³ de hormigón e incluimos los valores de asentamiento, además desglosamos en agua neta y de absorción.

Tabla 4.58 Resumen unitario de materiales

RESUMEN DOSIFICACIONES REALIZADAS PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN													Asent. Esperado	
													8	cm
													Peso de molde	
													6710	g
Peso de materiales para 1m ³ (Kg)													Volumen molde	
													5464	cm ³
NOMBRE	<N°200	A/C	AGUA Kg		RIPIO	Cemento	ARENA	<N°200	LIMO	PuTeor	ΔObt	Mold+H	PuMez	Rendim
	%		neta	absor	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m ³	cm	g	Kg/m ³	
Cero64	0%	0.64	195	52.81	915	305	748	0.0	0.0	2216	7.0	18870	2225	0.996
Cero51	0%	0.51	195	50.39	881	382	721	0.0	0.0	2229	6.2	18930	2236	0.997
Cero38	0%	0.38	195	46.32	824	513	674	0.0	0.0	2252	2.0	18970	2244	1.004
Cinco64	5%	0.64	195	53.24	863	305	748	20.0	29.1	2213	6.0	18880	2227	0.994
Cinco51	5%	0.51	195	50.80	863	382	690	18.5	26.9	2227	4.3	18794	2212	1.007
Cinco38	5%	0.38	195	46.74	860	513	596	15.9	23.2	2250	1.3	18943	2239	1.005
Diez64	10%	0.64	195	61.77	862	305	698	58.1	39.5	2219	8.0	18796	2212	1.003
Diez51	10%	0.51	195	50.74	878	382	630	52.5	36.0	2225	5.0	18900	2231	0.997
Diez38	10%	0.38	195	54.00	791	513	624	26.6	51.2	2254	1.0	18930	2236	1.008
Quince64	15%	0.64	195	65.21	894	305	621	57.2	83.5	2221	7.0	18900	2231	0.996
Quince51	15%	0.51	195	61.78	893	382	573	52.3	76.9	2234	7.0	18850	2222	1.006
Quince38	15%	0.38	195	56.22	880	513	501	43.8	67.0	2256	0.0	18864	2224	1.014

El valor requerido de asentamiento es 8 cm. Se han obtenido valores desde 0 á 8 cm. Observamos claramente que para todos los hormigones con relación agua cemento igual a 0.64, prácticamente se obtiene el asentamiento previsto y, para valores de agua cemento de 0.38, la consistencia se vuelve más seca consiguiendo asentamiento desde 0 a 2 cm. El asentamiento obtenido no guarda relación con el porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200, sin embargo el asentamiento se reduce sensiblemente al reducir la relación agua cemento, esto significa que deberá variarse el agua neta en la ecuación 4.1, tomando los promedios de su variación para determinar su sensibilidad respecto a la relación agua cemento.

Gráfico 4.46 Variación de agua neta en función de A/C



La cantidad de agua a añadir la hemos tomado de la “regla de dedo” vista en 4.4.2 que nos indica que por cada centímetro a incrementar en asentamiento se requiere añadir 2 litros de agua. La ecuación 4.1 queda en:

Ecuación 4.47 Estimación propuesta de agua neta

$$A_n = \frac{3890}{D^{0.01}} - 3571 - 0.075 \cdot \Delta^2 + 3.6 \cdot \Delta + \text{aire?} \cdot (8 \cdot \ln D - 44) - 47.5 \cdot a/c$$

Siendo:

A_n , Agua neta en litros/m³

Δ , Asentamiento requerido, en cm

D , Tamaño máximo del agregado, en mm y

aire?, Es hormigón con aire incluido? (0= falso, 1= verdadero)

a/c Relación agua cemento

Hemos desglosado los agregados por sus tamaños según las tablas 4.45 a 4.56

Tabla 4.59 Resumen de pesos de agregados empleados

Nom\Tam	AGREGADO GRUESO						AGREGADO FINO						<Nº200	Limo	RIPIO	ARENA
	38.1	25.4	19.1	12.7	9.53	4.76	2.381	1.191	0.595	0.297	0.149	0.074				
Cero64	0.00	10.98	14.64	23.78	19.57	31.65	19.76	17.93	13.90	18.29	7.50	4.94	0.00	0.00	100.62	82.32
Cero51	0.00	10.57	14.09	22.90	18.85	30.47	19.02	17.26	13.39	17.62	7.22	4.76	0.00	0.00	96.88	79.27
Cero38	0.00	9.88	13.18	21.41	17.62	28.50	17.79	16.14	12.52	16.47	6.75	4.45	0.00	0.00	90.60	74.12
Cinco64	0.00	10.40	14.25	23.88	19.45	32.16	22.73	20.80	16.56	16.37	5.91	4.38	2.32	3.38	100.15	86.75
Cinco51	0.00	10.20	13.72	22.51	18.47	30.07	20.05	18.29	14.42	14.25	4.71	4.20	2.03	2.95	94.97	75.92
Cinco38	0.00	11.27	14.74	23.41	19.43	30.87	18.56	16.82	13.01	12.83	4.33	3.62	1.85	2.69	99.73	69.18
Diez64	0.00	10.39	14.23	23.85	19.42	32.12	21.92	20.00	15.77	15.58	4.69	3.03	6.74	4.58	100.01	81.00
Diez51	0.00	10.54	14.05	22.84	18.80	30.39	18.97	17.21	13.35	13.17	3.28	3.33	5.77	3.96	96.61	69.32
Diez38	0.00	11.82	15.40	24.35	16.47	26.86	17.01	15.22	13.79	14.86	7.25	6.70	3.19	6.15	94.90	74.82
Quince64	0.00	11.14	14.99	25.17	19.98	32.47	21.13	17.10	14.79	13.45	3.33	2.26	6.63	9.68	103.74	72.06
Quince51	0.00	11.47	15.17	24.98	19.98	32.01	19.61	15.73	13.51	12.21	3.26	2.10	6.07	8.92	103.62	66.42
Quince38	0.00	12.17	15.76	25.78	19.87	32.05	19.34	13.61	11.10	10.21	2.70	3.16	5.26	8.04	105.63	60.10

Que corresponde a los siguientes pesos de agregado por m³.

Tabla 4.60 Resumen de peso de agregados por m³

Nom\Tam	AGREGADO GRUESO						AGREGADO FINO						<Nº200	Limo	RIPIO	ARENA
	38.1	25.4	19.1	12.7	9.53	4.76	2.38	1.191	0.595	0.297	0.149	0.074				
Cero64	0	100	133	216	178	288	180	163	126	166	68	45	0.0	0.0	915	748
Cero51	0	96	128	208	171	277	173	157	122	160	66	43	0.0	0.0	881	721
Cero38	0	90	120	195	160	259	162	147	114	150	61	40	0.0	0.0	824	674
Cinco64	0	90	123	206	168	277	196	179	143	141	51	38	20.0	29.1	863	748
Cinco51	0	93	125	205	168	273	182	166	131	130	43	38	18.5	26.9	863	690
Cinco38	0	97	127	202	167	266	160	145	112	111	37	31	15.9	23.2	860	596
Diez64	0	90	123	206	167	277	189	172	136	134	40	26	58.1	39.5	862	698
Diez51	0	96	128	208	171	276	172	156	121	120	30	30	52.5	36.0	878	630
Diez38	0	98	128	203	137	224	142	127	115	124	60	56	26.6	51.2	791	624
Quince64	0	96	129	217	172	280	182	147	128	116	29	19	57.2	83.5	894	621
Quince51	0	99	131	215	172	276	169	136	116	105	28	18	52.3	76.9	893	573
Quince38	0	101	131	215	166	267	161	113	93	85	22	26	43.8	67.0	880	501

4.6. Reestimación de la mezcla

Con los datos de asentamiento obtenido (Δ Obt) y peso de molde con hormigón (Molde + H) de la tabla 4.58, procedemos a leer la reestimación de la mezcla, para lo cual nos auxiliamos de la hoja electrónica *Restim*, generada automáticamente en el libro de dosificación y la misma nos dará las cantidades de materiales que se deberán añadir en la concretera para alcanzar el asentamiento y rendimiento requeridos en la mezcla.

Las celdas de cálculo consideran los siguientes parámetros:

- El hormigón empleado para conocer el asentamiento deberá devolverse a la olla de la concretera, en cambio el empleado para el peso unitario se conservará en el molde etiquetado para peso unitario. Por tanto, el volumen base de cálculo para la reestimación será el teórico a dosificar menos el volumen del molde de peso unitario.
- Si el asentamiento obtenido estuviera en un valor menor que el requerido se deberá añadir pasta (Agua y Cemento) en las cantidades indicadas en la hoja de reestimación. También puede ser necesario agregar Ripio y Arena.
- En caso de sobrepasar el asentamiento esperado, se tendrá que añadir Ripio y Arena, además podrá requerirse de Agua y Cemento para el caso de que el rendimiento volumétrico fuera menor que el esperado (mayor relación de peso unitario).
- En el hormigón fresco no se puede reducir materiales para corregir asentamiento y rendimiento, solo añadirlos en ese caso el volumen mezclado será proporcionalmente mayor al esperado pero siempre nos permitirá fundir la cantidad necesaria.
- Cada dosificación teórica de hormigón tendrá su propio cuadro *Restim* con los materiales a añadir para los casos que hemos considerado razonables dentro de las

variaciones de asentamiento y relación de peso unitario. Esto es que el rango de asentamientos probables irá desde cero al asentamiento esperado y continuará hasta los 20 cm, ya que el cono de Abrams solo tiene 30 cm de altura. Para la relación de peso unitario hemos considerado un rango desde 0.96 a 1.04 (96% a 104%) debido a que una variación sobre el rendimiento esperado puede atribuirse a un contenido de aire atrapado diferente a lo estimado, además generalmente el volumen de la pasta es menor al de partículas de cemento más agua.

- Los pesos a aumentar de Ripio y Arena no consideran la distribución continua de curva granulométrica ideal planteada, sino que son pesos de material mezclado, o bien del agregado original. Esto se debe a que estas cantidades a aumentar son pequeñas y no van a influir mayormente en la distribución granulométrica planteada en el diseño de la mezcla. De todos modos, se puede tener a la mano una cantidad de agregado mezclado en las proporciones de la granulometría propuesta y aumentarlo en un valor igual a la suma de Ripio y Arena que indique la hoja de reestimación.
- A la hoja impresa de reestimación de la mezcla se ingresa con el valor del peso de molde + hormigón y se elige el cuadro que más se aproxime a este valor. Dentro de este cuadro se escoge asimismo, la columna del asentamiento más aproximado y se leen las cantidades de materiales a añadir en la concreteira.
- Debido a que tanto el programa de dosificación como su hoja de reestimación se basan en métodos teóricos, puede ser que una sola reestimación no sea suficiente, básicamente en lo que respecta al asentamiento.

El uso de la hoja se ilustra en el siguiente ejemplo:

Tabla 4.61 Procedimiento para reestimación

Relación agua cemento=0.38, %finos =10%
 PARA 1 m³ DE HORMIGÓN

Peso de materiales para 1m ³ (Kg)										Asent. Esperado		8		cm
										Peso de molde		6710		g
										Volumen molde		5464		cm ³
NOMBRE	<Nº200	A/C	AGUA Kg		RIPIO	Cemento	ARENA	<Nº200	LIMO	PuTeor	ΔObt	Mold+H	PuMez	Rendim
	%		neta	absor	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m ³	cm	g	Kg/m ³	
Diez38	10%	0.38	195	54.00	791	513	624	26.6	51.2	2254	1.0	18930	2236	1.008

Escoger la columna con el valor de asentamiento más próximo al obtenido

Escoger el cuadro de reestimación con el peso de molde+hormigón más cercano al obtenido

														Fi 1.02		Ase		Vmol 5464		6710		Pmol	
PTotal	ΔObte	0	1.33	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20									
18784	Agua	1.91	1.40	0.89	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00									
2210	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.90	3.51	6.01	8.58	11.25	14.00	16.86	19.82									
2254	Cem	7.15	5.86	4.60	3.34	2.32	2.14	1.95	1.67	1.37	1.07	0.75	0.42	0.08									
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	1.68	3.11	5.33	7.61	9.97	12.42	14.95	17.58									
REESTIMACION														Fi 1.01		Ase		Vmol 5464		6710		Pmol	
PTotal	ΔObte	0	1.33	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20									
18904	Agua	2.00	1.49	0.99	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06									
2232	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	3.14	5.59	8.13	10.75	13.46	16.26	19.39									
2254	Cem	7.11	5.84	4.58	3.34	2.12	1.93	1.74	1.46	1.16	0.86	0.54	0.22	0.00									
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37	2.78	4.96	7.21	9.53	11.94	14.42	17.20									
REESTIMACION														Fi 1.005		Ase		Vmol 5464		6710		Pmol	
PTotal	ΔObte	0	1.33	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20									
18965	Agua	2.04	1.54	1.04	0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11									
2243	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	3.14	5.59	8.13	10.75	13.46	16.26	19.39									
2254	Cem	7.09	5.83	4.58	3.34	2.12	1.93	1.74	1.46	1.16	0.86	0.54	0.22	0.00									
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37	2.78	4.96	7.21	9.53	11.94	14.42	17.20									
REESTIMACION														Fi 1		Ase		Vmol 5464		6710		Pmol	
PTotal	ΔObte	0	1.33	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20									
19026	Agua	2.09	1.58	1.08	0.59	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16									
2254	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	2.76	5.18	7.67	10.25	12.91	15.66	19.12									
2254	Cem	7.07	5.81	4.57	3.34	2.13	1.72	1.53	1.25	0.96	0.65	0.34	0.01	0.00									
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	2.45	4.59	6.80	9.09	11.45	13.89	16.96									
REESTIMACION														Fi 0.995		Ase		Vmol 5464		6710		Pmol	
PTotal	ΔObte	0	1.33	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20									
19088	Agua	2.13	1.63	1.13	0.64	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.21									
2265	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	2.57	4.97	7.44	9.99	12.63	15.53	18.98									
2254	Cem	7.06	5.80	4.56	3.34	2.13	1.61	1.43	1.14	0.85	0.55	0.23	0.00	0.00									
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	2.28	4.40	6.60	8.86	11.20	13.77	16.83									

Estas serán las cantidades (Kg) de Agua, Ripio, Cemento y Arena que deberán añadirse a la mezcla para obtener el asentamiento y rendimiento deseados

Para este ejemplo se han omitido los cuadros para los valores de rendimiento (Fi) de 1.04, 1.03, 0.99, 0.98, 0.97 y 0.96 de las hojas de reestimación por cuestiones de espacio.

Con el uso de la hoja impresa de reestimación no se requiere realizar cálculos en el laboratorio, sino solamente leer los valores a añadir directamente.

Tabla 4.62 Ejemplo tabla para A/C=0.64 y finos=5%

A/C		0.64 VolMix			0.116		FI	Vmol							Pmol	
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
PT		0	1.333	2.667	4	5.333	6.67	8	10	12	14	16	18	20		
18338	Agua	2.07	1.65	1.22	0.80	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.21	0.37	0.55		
2128	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.55	3.78	6.09	8.67	11.76	15.00	18.39		
2213	Cem	3.74	3.09	2.45	1.81	1.18	0.59	0.47	0.30	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.43	3.49	5.62	8.01	10.86	13.84	16.98		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18451	Agua	2.15	1.73	1.31	0.89	0.48	0.07	0.00	0.00	0.00	0.14	0.30	0.46	0.63		
2149	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19	3.39	5.67	8.54	11.59	14.79	18.14		
2213	Cem	3.72	3.08	2.44	1.81	1.18	0.56	0.37	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	3.13	5.23	7.88	10.70	13.65	16.74		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18566	Agua	2.23	1.81	1.39	0.98	0.57	0.16	0.00	0.00	0.08	0.23	0.39	0.55	0.72		
2170	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	3.00	5.52	8.40	11.42	14.58	17.89		
2213	Cem	3.70	3.07	2.44	1.81	1.19	0.57	0.26	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	2.77	5.09	7.76	10.54	13.46	16.51		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18684	Agua	2.31	1.90	1.48	1.07	0.67	0.26	0.00	0.02	0.17	0.32	0.48	0.64	0.82		
2191	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	2.68	5.41	8.27	11.25	14.37	17.63		
2213	Cem	3.69	3.05	2.43	1.81	1.19	0.58	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	2.47	5.00	7.63	10.38	13.26	16.28		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18743	Agua	2.35	1.94	1.53	1.12	0.72	0.31	0.00	0.07	0.21	0.36	0.52	0.69	0.86		
2202	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	2.64	5.36	8.20	11.16	14.26	17.51		
2213	Cem	3.68	3.05	2.43	1.81	1.20	0.59	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	2.44	4.95	7.57	10.30	13.16	16.16		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18803	Agua	2.40	1.98	1.57	1.17	0.77						0.57	0.74	0.91		
2213	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						11.08	14.16	17.38		
2213	Cem	3.67	3.04	2.42	1.81	1.20						0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						10.22	13.07	16.04		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18864	Agua	2.44	2.03	1.62	1.22	0.82	0.42	0.02	0.16	0.31	0.46	0.62	0.78	0.96		
2224	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57	5.26	8.06	10.99	14.05	17.26		
2213	Cem	3.66	3.04	2.42	1.81	1.20	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	4.85	7.44	10.14	12.97	15.93		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
18926	Agua	2.48	2.07	1.67	1.26	0.87	0.47	0.08	0.21	0.35	0.51	0.66	0.83	1.00		
2236	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53	5.20	7.99	10.90	13.95	17.13		
2213	Cem	3.65	3.03	2.42	1.81	1.20	0.61	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34	4.80	7.38	10.06	12.87	15.81		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
19050	Agua	2.57	2.17	1.76	1.36	0.97	0.58	0.19	0.30	0.45	0.60	0.76	0.93	1.10		
2258	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	5.10	7.85	10.73	13.73	16.88		
2213	Cem	3.63	3.02	2.41	1.81	1.21	0.62	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.26	4.70	7.25	9.90	12.68	15.58		
REESTIMACION							Pt/Pobt	Ase							5464	6710
19177	Agua	2.66	2.26	1.86	1.47	1.07	0.68	0.30	0.40	0.55	0.70	0.86	1.03	1.20		
2282	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	4.99	7.71	10.55	13.52	16.62		
2213	Cem	3.61	3.01	2.41	1.81	1.22	0.63	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19	4.60	7.12	9.74	12.48	15.34		

Asentamiento obtenido= 6 cm, peso de muestra+molde=18880 gr entonces se añaden 620 gr de agua y 900 gr de cemento, no se requiere añadir ripio ni arena

Tabla 4.63 Cuadros aplicados de reestimación

A/C	%finos	Δobt	PT						Vmol	Pmol									
0.64	0%	7.0	18870	0.995					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18877	Agua	2.28	1.89	1.51	1.13	0.75	0.37	0.00	0.13	0.27	0.41	0.56	0.71	0.88					
2227	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.58	5.27	8.08	11.02	14.08	17.29					
2216	Cem	3.45	2.87	2.28	1.71	1.13	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11	4.32	6.61	9.01	11.52	14.15					
0.51	0%	6.2	18930	0.995					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18951	Agua	2.47	2.06	1.65	1.25	0.85	0.45	0.06	0.17	0.31	0.44	0.59	0.74	0.90					
2240	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57	5.29	8.11	11.07	14.16	17.39					
2229	Cem	4.57	3.79	3.02	2.26	1.50	0.75	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11	4.32	6.64	9.06	11.58	14.23					
0.38	0%	2.0	18970	1.005					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18953	Agua	2.74	2.28	1.82	1.37	0.92	0.48	0.05	0.16	0.28	0.41	0.55	0.69	0.84					
2241	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.64	5.41	8.31	11.33	14.50	17.81					
2252	Cem	6.77	5.61	4.46	3.33	2.21	1.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16	4.43	6.80	9.27	11.86	14.58					
0.64	5%	6.0	18880	Pt/Pobt	0.995					Ase	5464	6710							
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18864	Agua	2.44	2.03	1.62	1.22	0.82	0.42	0.02	0.16	0.31	0.46	0.62	0.78	0.96					
2224	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57	5.26	8.06	10.99	14.05	17.26					
2213	Cem	3.66	3.04	2.42	1.81	1.20	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	4.85	7.44	10.14	12.97	15.93					
0.51	5%	4.3	18794	1.005					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18818	Agua	2.36	1.95	1.53	1.13	0.72	0.32	0.00	0.06	0.19	0.33	0.47	0.62	0.78					
2216	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	2.61	5.30	8.11	11.04	14.11	17.32					
2227	Cem	4.59	3.80	3.02	2.25	1.49	0.73	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	2.23	4.52	6.91	9.41	12.02	14.76					
0.38	5%	1.3	18943	1.005					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18943	Agua	2.77	2.28	1.80	1.32	0.85	0.38	0.00	0.06	0.19	0.32	0.47	0.61	0.77					
2239	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	2.98	6.04	9.24	12.59	16.08	19.74					
2250	Cem	7.12	5.89	4.68	3.48	2.30	1.13	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	2.20	4.47	6.83	9.30	11.89	14.59					
0.64	10%	8.0	18796	1.00					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18837	Agua	1.33	0.92	0.51	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
2219	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	2.37	3.78	5.95	8.19	10.50	12.89	15.36	17.91					
2219	Cem	3.48	2.86	2.24	1.63	1.38	1.27	1.16	0.98	0.80	0.61	0.41	0.21	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	2.19	3.49	5.49	7.56	9.69	11.90	16.54					
0.51	10%	5.0	18900	0.995					Ase	5464	6710								
PT		0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18928	Agua	2.42	2.01	1.60	1.19	0.79	0.39	0.00	0.13	0.26	0.40	0.54	0.69	0.85					
2236	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	5.30	8.13	11.08	14.16	17.39					
2225	Cem	4.56	3.78	3.01	2.25	1.49	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	4.34	6.65	9.06	11.59	14.23					
0.38	10%	0.0	18930	FI	1.01					Ase	Vmol	5464	6710	Pmol					
PTTotal	ΔObte	0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20					
18904	Agua	2.00	1.49	0.99	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06					
2232	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	3.14	5.59	8.13	10.75	13.46	16.26	19.39					
2254	Cem	7.11	5.84	4.58	3.34	2.12	1.93	1.74	1.46	1.16	0.86	0.54	0.22	0.00					
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37	2.78	4.96	7.21	9.53	11.94	14.42	17.20					
0.64	15%	7.0	18900	0.995					Ase	5464	6710								

PT	0	0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20
18907	Agua	0.88	0.47	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2232	Ripio	0.00	0.00	0.00	1.15	2.57	4.01	5.49	7.76	10.11	12.53	15.03	17.62	20.29
2221	Cem	3.38	2.77	2.15	1.96	1.85	1.73	1.62	1.44	1.25	1.06	0.87	0.66	0.45
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.98	2.19	3.42	4.68	6.61	8.61	10.68	12.81	15.01	17.28
0.51	15%	7.0	18850	1.005				Ase	5464		6710			
PT	0	0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20
18857	Agua	1.06	0.63	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2223	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.83	2.35	3.91	5.49	7.94	10.47	13.08	15.77	18.56	21.45
2234	Cem	4.52	3.69	2.88	2.44	2.31	2.17	2.03	1.81	1.58	1.35	1.11	0.87	0.61
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.65	1.85	3.07	4.32	6.24	8.22	10.27	12.39	14.59	16.86
0.38	15%	0.0	18864	1.01				Ase	5464		6710			
PT	0	0	1.333	2.67	4	5.33	6.67	8	10	12	14	16	18	20
18917	Agua	1.54	1.03	0.53	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2234	Ripio	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58	3.35	5.16	7.94	10.81	13.78	16.85	20.04	23.33
2256	Cem	6.97	5.70	4.44	3.20	2.94	2.76	2.57	2.29	1.99	1.69	1.37	1.05	0.71
0	Arena	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	2.33	3.58	5.52	7.51	9.58	11.71	13.92	16.21

Estas cantidades son las que añadimos a la mezcla y continuamos batiendo por dos minutos adicionales para homogeneizarla.

4.7. Obtención del porcentaje de aire atrapado

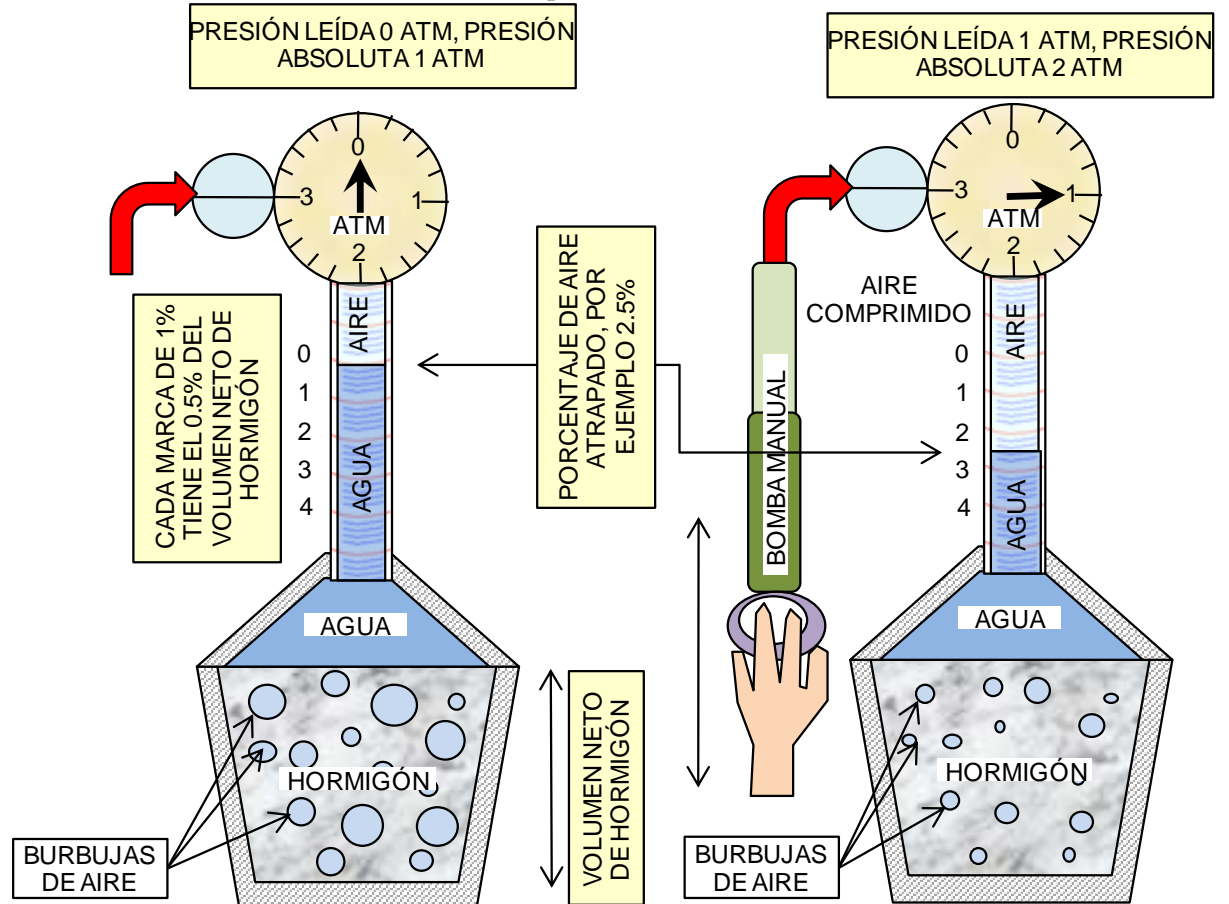
Durante la mezcla de los componentes del hormigón y su colocación, quedan cavidades de aire atrapado o incluido generadas sea por el batido, uso de inclusores de aire, reacciones en la pasta cementante o desplazadas de los poros del agregado al absorber estos agua; aunque parte de estas dos últimas podrán ser liberadas. Este aire atrapado puede tener efectos positivos o negativos en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, dependiendo de su contenido y tamaño de burbujas como hemos visto en 1.1.4. Por último, debemos recordar que para estructuras sometidas a ciclos de congelación y deshielo, se requiere la incorporación de aire según lo descrito en las tablas 4.3 (normativa ACI) y tabla 4.7 (normativa NEC). Este requisito es porque en hormigón húmedo, el agua al congelarse aumenta de volumen y la presión interna de tracción puede agrietar y romper al concreto, situación que se evita al dotarlo de suficientes poros que reciban ese cambio volumétrico.

Para determinar el porcentaje de aire atrapado en un volumen de hormigón, imaginemos una masa de hormigón que contenga aire, si a esta se la somete a una

presión absoluta del **doble** de la atmosférica, se reducirá el volumen de la masa de hormigón en la **mitad** de su contenido de aire. Esto se debe a que los materiales sólidos y líquidos que contiene el hormigón son prácticamente incompresibles.

Si este ensayo lo realizamos en un recipiente de un volumen determinado, con una columna de vidrio graduada en intervalos principales correspondientes al 0.5% del volumen del recipiente, tendremos la lectura directa del porcentaje de aire atrapado o incluido. Esta es la parte básica del ensayo, además debemos efectuar la corrección por agregado, que consiste en determinar el volumen de poros accesibles en el agregado que se lo realizará con el mismo procedimiento, usando agregado solamente. Otra consideración en el ensayo es asegurar que el agua adicional que se pone esté libre de burbujas y encerar adecuadamente el instrumento de medición de presión. Mostramos a continuación el proceso.

Gráfico 4.46 Medición de contenido de aire atrapado



Los resultados para nuestros ensayos los mostramos en la siguiente tabla.

Tabla 4.64 Resultados de contenido de aire atrapado

Nom\Tam	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3			Ciclo 4			Ciclo 5			Ciclo 6			%aire Atrap
	h2	h3	%aire	h2	h3	%aire	h2	h3	%aire	h2	h3	%aire	h2	h3	%aire	h2	h3	%aire	
CorrAGR	1.6	0.5	1.1	1.7	0.5	1.2	1.7	0.55	1.15	1.9	0.6	1.3							1.30%
Cero64	2.4	0.5	1.9	2.8	0.5	2.3	2.9	0.7	2.2	3	0.9	2.1							0.80%
Cero51	3.7	1.7	2	3.9	1.6	2.3	3.9	1.8	2.1										0.80%
Cero38	2.7	0.8	1.9	2.8	1.1	1.7	3	1	2	3.1	1.2	1.9							0.60%
Cinco64	2.4	0.35	2.05	2.6	0.6	2	2.6	0.6	2										0.70%
Cinco51	2.5	0.4	2.1	2.1	0.6	1.5	2.9	0.8	2.1	3	1.1	1.9	3.1	1.2	1.9	3.2	1.3	1.9	0.60%
Cinco38	2.4	0.4	2	2.4	0.5	1.9	2.4	0.6	1.8	2.4	0.7	1.7							0.40%
Diez64	2.7	0.55	2.15	2.6	0.57	2.03	2.75	0.65	2.1	2.8	0.7	2.1	2.9	0.76	2.14	3	0.82	2.18	0.88%
Diez51	2.4	0.3	2.1	2.5	0.6	1.9	2.6	0.5	2.1	2.6	0.4	2.2							0.90%
Diez38	3.8	1.6	2.2	4	1.8	2.2	4.25	1.9	2.35										1.05%
Quince64	2.5	1.3	1.2	2.7	0.7	2	2.6	1	1.6	2.7	1	1.7							0.40%
Quince51	2.1	0.3	1.8	2.1	0.4	1.7	2.2	0.5	1.7	2.3	0.5	1.8							0.50%
Quince38	2.4	0.5	1.9	2.4	0.6	1.8	2.5	0.75	1.75	2.5	0.8	1.7	2.7	0.85	1.85	2.7	0.9	1.8	0.50%

Nótese que la corrección por agregado la hemos realizado solamente una vez para una mezcla de agregados naturales (sin fraccionamiento por tamizado), consistente en 57% de ripio y 43% de arena que representan más o menos el promedio del proporcionamiento usado en todas las mezclas.

Los resultados no presentan ninguna relación con el contenido de finos o relación agua cemento, simplemente podemos decir que el promedio es 0.7%, igual al promedio de la tabla 4.29 para tamaño máximo del agregado de 25mm, mostrada en el gráfico 4.5 obtenida de la disertación de Sergio Oswaldo Tamayo Tamayo titulada “Determinación del contenido de aire atrapado y sus consecuencias en el hormigón, utilizando cemento portland puzolánico tipo IP”. La tabla 4.3 correspondiente a la tabla 6.3.3 de ACI 211.1 nos arroja que el valor de aire atrapado sería 1.5% para tamaño máximo del agregado de 25mm.

CAPÍTULO 5

ENSAYOS MECÁNICOS EN EL HORMIGÓN.

5.1. Metodología

Los cilindros y viguetas fueron fundidos y curados como se indicó en 4.5... y transcurridas las edades de 7, 14, 28 y 56 días, se realizaron las pruebas mecánicas pertinentes. Los ensayos de compresión se efectuaron para todas las edades antes indicadas, mientras que los de flexión de viguetas y tracción por el método brasileño se hicieron únicamente a los 28 días.

Para los ensayos de compresión se decidió medir la curva esfuerzo deformación, con el empleo de deformímetros de tipo analógico, los cuales iban montados en bridas anulares, unidas al cilindro de concreto mediante pernos de fijación superficiales, este ensamble permitía montar un solo deformímetro lo cual, como veremos más adelante pudo conducir a errores en la lectura de deformación.

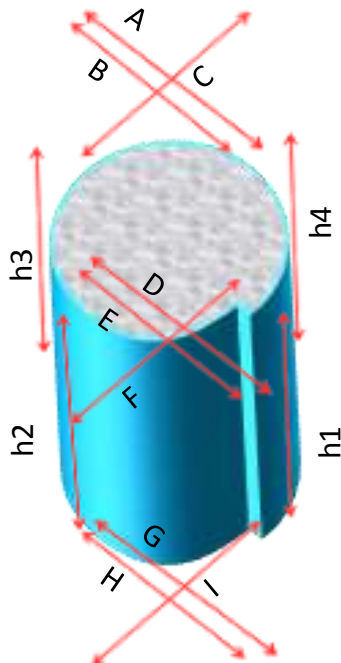


En la fotografía se observa el cilindro montado en la máquina de ensayo del laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la PUCE. Los cilindros se colocaron con apoyos de neopreno. A los lados de las bridas del deformímetro están las varillas espaciadoras, las cuales se remueven antes de iniciar el ensayo.

Foto 5.1 Ensamble de deformímetro para prueba de compresión

Como los ensayos se realizaron durante casi dos meses, se emplearon varios deformímetros lineales, con graduaciones bien en milésimas de milímetro o diezmilésimas de pulgada, también con lectura directa (los valores aumentan a mayor deformación de compresión) o inversa (los valores leídos se reducen a medida que aumenta la deformación). Adicionalmente, se debe encerar el deformímetro, lo que supone ejercer una ligera fuerza sobre este para girar su dial, por lo que se causa un movimiento indeseable que vuelve difícil conseguir la posición de cero. Por estos motivos decidimos sistematizar el proceso empleando ayudas de cálculo para compatibilizar las unidades y dirección de deformación, así como poder partir de cualquier posición sin requerir encerar el deformímetro.

5.2.Procedimientos previos



Se procedió a tomar las dimensiones de los cilindros observando que, al no ser completamente circulares debido a la forma de los moldes en la unión que permite desarmarlos, conviene tomar varias lecturas de su diámetro, en este caso 3 en la parte superior, 3 en la media y 3 en la inferior, adicionalmente se tomaron cuatro lecturas de la altura correspondientes a los mismos puntos diametrales como se indica en el gráfico. La sección transversal se obtuvo con el diámetro promedio, al igual que la altura para conocer el

volumen.

Gráfico 5.1 Dimensiones de un cilindro

Para medir y pesar los cilindros se los secó cuidadosamente con una toalla, sin embargo, creemos que la humedad superficial remanente pudo influir en el peso unitario.

Las dimensiones de diámetro y altura se midieron con calibrador vernier, se tuvo que usar extensiones consistentes en 2 escuadras de carpintero para medir los diámetros en la mitad del cilindro. Los cálculos se resumen a continuación:

$\phi_1 = \frac{A + B}{2}$	Ecuación 5.1	$\phi_2 = \frac{D + E}{2}$	Ecuación 5.2
$\phi_3 = \frac{G + H}{2}$	Ecuación 5.3	$A_1 = \phi_1 * C * \pi$	Ecuación 5.4
$A_2 = \phi_2 * F * \pi$	Ecuación 5.5	$A_3 = \phi_3 * I * \pi$	Ecuación 5.6
$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$	Ecuación 5.7	$\bar{H} = \frac{h1 + h2 + h3 + h4}{4}$	Ecuación 5.8
$V = \bar{A} * \bar{H}$	Ecuación 5.9		

Siendo:

A, B, D, E, G, H,	Diámetros mínimo y máximo en la unión
C, F, I,	Diámetros transversales
$\Phi_1, \Phi_1, \Phi_1,$	Diámetros promedio en la unión
$\underline{A}_1, A_2, A_3,$	Áreas de sección transversal
$\underline{A},$	Área promedio para cálculo de esfuerzos
H,	Altura promedio del espécimen y,
V,	Volumen para cálculo de peso unitario.

Aunque es muy recomendado emplear capeado de azufre para garantizar secciones planas, paralelas y transmisión uniforme de esfuerzos; no se lo pudo realizar y en su defecto se emplearon cubiertas de neopreno.

5.3.Pruebas de compresión de cilindros

Una vez preparados los cilindros, procedimos a montar el ensamble del deformímetro y este a su vez en la prensa para el ensayo de compresión, según ASTM C-39, el esfuerzo aplicado debe estar entre 56 y 140 psi por segundo por lo que, para una sección transversal de 177 cm², la fuerza aplicada en promedio deberá aproximadamente de 12 KN/s, sin embargo redujimos esta velocidad más abajo del límite inferior, es decir 5 KN/s para poder registrar las lecturas del deformímetro

adecuadamente. Las lecturas de deformación se realizaron normalmente a cada 25 KN de carga aplicada, hasta aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la carga estimada que produciría la falla del cilindro, luego la lectura se realizó cada 10 KN, hasta llegar a la falla. Para registrar estos datos se empleó una hoja con formato conveniente, en la cual se pueden anotar dimensiones, peso, observaciones iniciales, configuración de los instrumentos, cargas, deformaciones, gráfico de falla y observaciones finales.

5.3.1 Procesamiento de la información

Realizamos una hoja de cálculo para obtener la sección transversal promedio, altura, volumen, peso unitario, resistencia promedio, característica y los rangos de variación. Para la obtención de la curva esfuerzo deformación se ingresan las cargas y deformaciones leídas en el ensayo, para lo cual el programa considera la conversión de unidades, la dirección de la deformación (directa o inversa) y determina cuando el deformímetro ha dado cada vuelta completa e incrementa el valor correspondiente a la deformación total en una vuelta, haciendo innecesaria la anotación correspondiente a la totalidad de deformación leída.

Para los diámetros se ingresan 2 para la parte superior, 2 para la media y 2 para la inferior, siendo el primero de cada uno de estos el promedio de los diámetros mayor y menor en la unión. Las alturas que se ingresan corresponden a las de los cuadrantes formados desde la unión. Se anota también el peso y la carga registrada máxima registrada por la máquina de ensayo, o bien la carga en la que se produzca algún evento en la que se considere que se produce la falla antes de la máxima, por ejemplo algún agrietamiento, descascaramiento, etc. En la siguiente tabla mostramos el formato recomendado para la toma de datos en laboratorio en la realización del ensayo de compresión de cilindros con determinación de la curva esfuerzo deformación.

5.3.2 Instrucciones para ingresar datos

En la hoja de resultados tenemos el siguiente formato:

Gráfico 5.3 Elementos para el de ingreso de datos

The spreadsheet is titled "Ensayo de compresión de cilindros" and contains several data tables. Key callouts include:

- Top Callout:** "El formato permite calcular hasta 3 cilindros" (The format allows calculating up to 3 cylinders).
- Right Callout:** "Estos símbolos y los colores del relleno nos permiten distinguir en el gráfico de cual cilindro se trata." (These symbols and fill colors allow us to distinguish in the graph which cylinder is being treated).
- Configuration Callout:** "En este rango se encuentra la configuración de unidades de trabajo" (In this range, the configuration of work units is found).
- Diagonal Callout:** "Se ingresa diámetro promedio en unión y transversal para zonas superior, media e inferior" (Average diameter is entered for top, middle, and bottom zones).
- Load Callout:** "Aquí se ingresa la carga de rotura leída de la prensa" (Here, the load from the press is entered).
- Deformation Callout:** "En estos puntos el deformímetro ha completado una vuelta" (At these points, the deformation gauge has completed one revolution).
- Load Note Callout:** "Nótese que esta no necesariamente la carga de rotura" (Note that this is not necessarily the load at failure).
- Bottom Callout:** "En estas columnas escribir los datos de carga y deformación respectivamente" (Write load and deformation data in these columns respectively).

Además de las instrucciones mostradas aquí arriba debemos tomar en cuenta:

1. Asegurarse siempre de trabajar sobre una copia del archivo de plantilla del libro de cálculo.
2. Las celdas de entrada de datos del ensayo tienen color de fuente Negra, en tanto las calculadas están en color Azul, las celdas en Rojo o Azul no deben ser modificadas ya que eso dañaría el funcionamiento de este libro.
3. Analice la configuración de unidades de trabajo, indicadas en el rango F1:P3 y compruebe si corresponden con sus requerimientos de medición y presentación.

- No modificar manualmente el rango F1:P3 ni las celdas Q1:Z80 (a la derecha del área de impresión). Para actualizar el gráfico o modificar configuración de unidades de trabajo, emplee el botón de Configuración...
- Aparecerá un cuadro de diálogo similar al siguiente, en el que observamos los siguientes elementos:

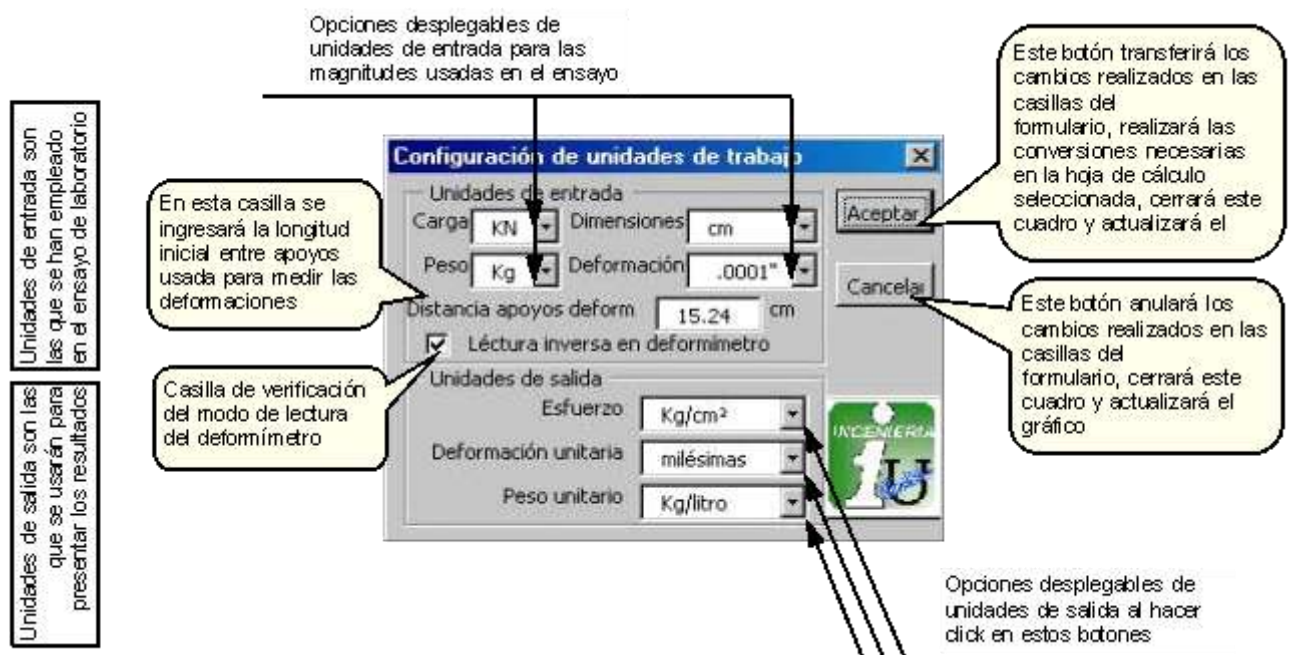


Gráfico 5.4 Cuadro de diálogo para configuración.



Gráfico 5.5 Uso de desplegables en el cuadro de diálogo.

6. El campo "Distancia [entre] apoyos deform[ímetro]" siempre estará dado en centímetros. En la casilla de verificación "Lectura inversa en deformímetro" se especifica el tipo de deformímetro empleado; si el deformímetro incrementa sus valores de lectura al momento de ser comprimido, entonces se trata de un deformímetro de lectura directa, ya que el ensayo es de compresión, y se debe desactivar esta casilla; caso contrario, si los valores descienden al ser comprimido el dispositivo, entonces es de lectura inversa. Cada hoja de ensayos de compresión dentro del libro puede configurar de forma independiente sus unidades de trabajo. Las hojas de "Flexión" y "Tracción" heredarán la configuración del ensayo de compresión a "28días", ya que estos ensayos se realizan a esta edad, y se asume que se utilizarán las mismas balanzas, calibradores y demás instrumentos en las tres pruebas.
7. Para el etiquetado de cilindros y edición de gráfico de falla los nombres de los cilindros (desde las celdas "identificación"), serán pasados a sus gráficos de falla después de correr el formulario anterior. El gráfico de falla del cilindro tipo contiene un polígono con relleno de textura que simula hormigón que podrá editarse con "Modificar puntos" del menú de botón derecho al hacer click en el polígono, esto permitirá realizar los pinzamientos necesarios para modificar la

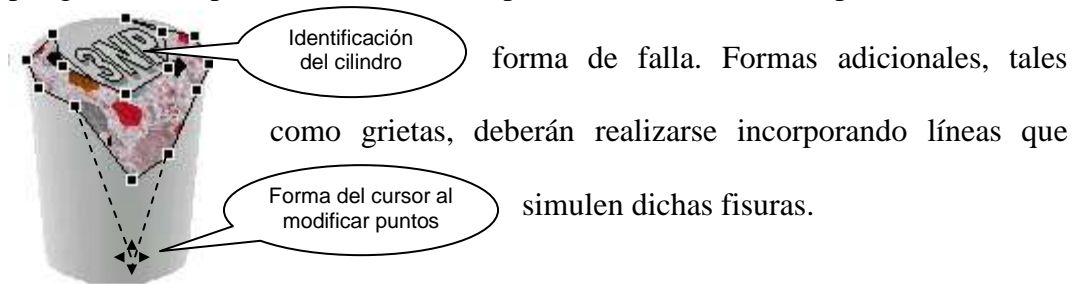


Gráfico 5.6 Modificación de forma de falla.



Gráfico 5.7 Resultado después de modificar puntos

En caso de disponer de una fotografía del cilindro fallado, esta se podrá colocar con el menú de excel Insertar Imagen Desde archivo, los formatos estandar aceptados podrán ser JPG, BMP o TIF; el tamaño de las imágenes conviene



que sea pequeño para prevenir que el tamaño del archivo sea muy grande en caso de ser necesario enviarlo por correo electrónico, por ejemplo 240x320 pixeles de ancho y altura respectivamente son suficientes (resolución QVGA). Previamente, para insertar fotografías, los dibujos del cilindro tipo deberán ser borrados.

Foto 5.2 Cilindro fallado

8. Para el ingreso de datos en las hojas electrónicas deberá escribirse al menos un dato para cada dimensión de cada espécimen en las celdas correspondientes. Adicionalmente, para el caso de viguetas en flexión, habrá dimensiones obligatorias de ser llenadas que se indican con subtítulos rojos. El número de especímenes deberá ser de al menos uno para cada tipo de ensayo. Para cada tipo de ensayo se podrá realizar desde 0 a 3 curvas esfuerzo/deformación, dependiendo de la información con la que se cuente. Existen tips en algunas celdas, puestos como comentarios, a los que se accede simplemente apuntándolos con el puntero.

Atención:



No todas las configuraciones que se pueda escoger estarán totalmente apegadas a las normas de ensayo referentes a población mínima, formatos de presentación de gráficos, unidades vigentes u otras categorías. El listado del programa se encuentra en el anexo 3.

5.3.3 Resultados de los ensayos de compresión de cilindros

Una vez desarrollado el formato antes descrito, se elaboraron libros de cálculo para cada lote de mezclas de hormigón. En cada libro de cálculo se presentan los resultados de compresión para 7, 14, 28 y 56 días, y adicionalmente los resultados del ensayo de tracción por el método brasileño, flexión de viguetas y un sumario de las propiedades obtenidas en estos ensayos. Cada uno se presenta en una hoja de cálculo dentro del libro correspondiente a cada mezcla.

Como hemos manifestado en gráfico 5.3, el gráfico esfuerzo deformación se recalcula, redimensiona y formatea cada vez que se ingresa al cuadro de diálogo de configuración. Esto nos permite tener escala adecuada, observar claramente a que cilindro corresponden los puntos y elabora los elementos auxiliares en el gráfico.

Adicionalmente, a partir de los promedios de deformaciones de todos los especímenes, se genera una línea de tendencia polinómica de tercer grado, cuya ecuación se captura para obtener los datos de:

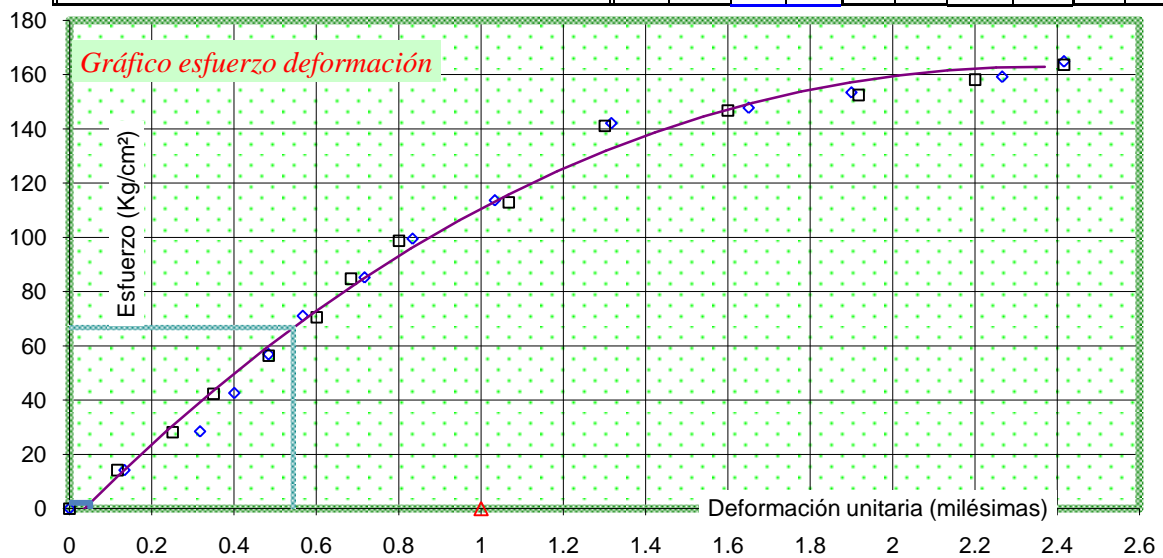
- Abscisa y ordenada en el origen.
- Coeficientes polinómicos y máximo en caso de existir.
- Esfuerzo para una deformación unitaria de 50 millonésimas.
- Deformación al 40% de resistencia característica.
- Con los valores anteriores se calcula el módulo de elasticidad secante, en cumplimiento con la norma ASTM C-469, descrita en 1.1.5. (ver gráfico 1.1)

Los resultados más relevantes de cada hoja electrónica están vinculados al sumario de propiedades del libro correspondiente a cada dosificación, adicionalmente estos resultados están vinculados con un libro de cálculo que los resume.

En las siguientes 48 páginas presentamos los resultados para compresión de cilindros.

Tabla 5.2 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C		.64		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2	cm				
Elaboración		Martes, 14 Noviembre		% finos		0%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001	mm		
Ensayado		Martes, 21 Noviembre		Edad (días)		7		Peso Kg		Dimensión cm		s Kg/cm ²		d milésimas			
Identificación	1NP	13NP	14NP	1NP				13NP				14NP					
Altura (cm)	30.13 30.16 30.16 30.03	30.15 29.73 29.84 30.08	30.92 31.02 31.12 31.10	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas		
Díametro (cm)	15.14 15.04 15.05 15.19 15.13 15.12	15.20 15.04 15.06 15.38 15.18 15.11	15.67 15.79 15.65 15.70 15.71 15.80	0	0	0	.00	0	0	0	.00				.00		
Peso (Kg)	12.02	12.04	13.37	25	92	14.2	.13	25	93	14.1	.12						
Carga rot.(KN)	313.81	299.44	325.45	50	81	28.4	.32	50	85	28.2	.25						
Tipo de falla	cabecal inferior	Cabecal conica	Cabecal	75	76	42.6	.40	75	79	42.3	.35						
Gráfico de falla				100	71	56.8	.48	100	71	56.5	.48						
				125	66	71	.57	125	64	70.6	.60						
				150	57	85.3	.72	150	59	84.7	.68						
				175	50	99.5	.83	175	52	98.8	.80						
				200	38	114	1.03	200	36	113	1.07						
				250	21	142	1.32	250	22	141	1.30						
				260	1	148	1.65	260	4	147	1.60						
				270	86	153	1.90	270	85	152	1.92						
				280	64	159	2.27	280	68	158	2.20						
				290	55	165	2.42	290	55	164	2.42						
300	42	171	2.63														
Observaciones																	
Diámetro (cm)	15.11	15.16	15.72														
Sección(cm ²)	179.36	180.54	194.09														
Altura (cm)	30.12	29.95	31.04														
Volumen(cm ³)	5402.19	5407.30	6024.44														
Peso unitario	2.225 Kg/litro	2.227 Kg/litro	2.219 Kg/litro														
P.U.promedio	2.224 Kg/litro ±0.16%																
Esfuerzo rotura	178.4 Kg/cm ²	169.1 Kg/cm ²	170.9 Kg/cm ²														
Resistencia promedio	172.8 Kg/cm ² ±2.69%																
f'c	166.9 Kg/cm ² Alfa=1.2																
Abscisa y ordenada a origen	0.035951628 -5.4815																
Coefficientes	a=2.079	-b=39.885	c=153.9														
Ecuación s=	2.079d ³ -39.885d ² +153.9d-5.4815																
Módulo elasticidad (secante)	130000 Kg/cm ²																
Coefficiente por f'c	10063																
Observaciones:																	



Agua/cemento	0.64	%material fino	0%	Edad	7 días	f'c=	167 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	--------	------	------------------------

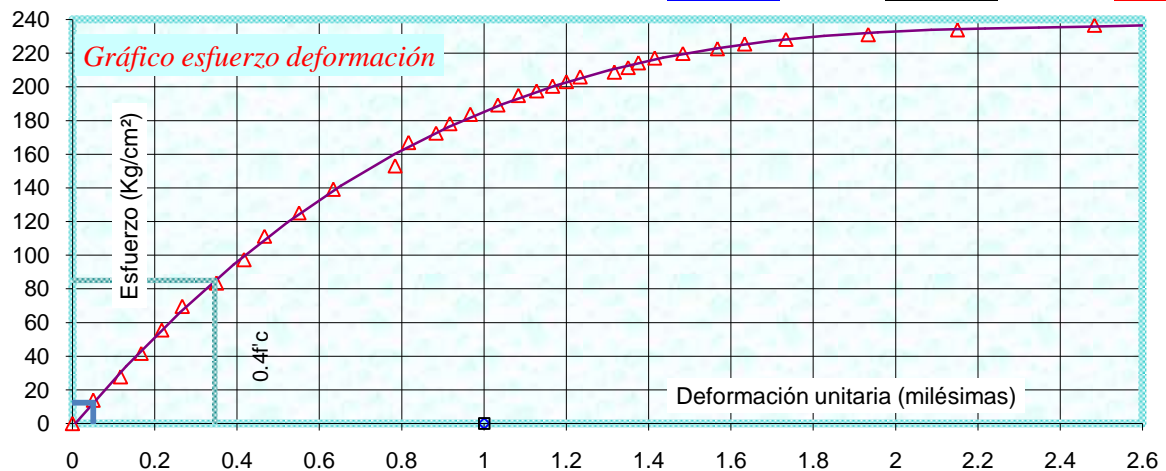
Gráfico 5.8 Esfuerzo Deformación para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=7 días

Tabla 5.3 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=14 días

Compresión de cilindros

Elaboración Martes, 14 Noviembre
 Ensayado Martes, 28 Noviembre

				A/C	Unidades de trabajo				Distancia apoyos deformímetro							
				0%	KN				15.2 cm							
				14	Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas					
				Edad (días)												
Identificación	5NP	3NP	8NP	Id	5NP				3NP				8NP			
Altura (cm)	29.78	30.10	30.11		Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
	29.86	29.92	30.15													
	29.78	29.95	30.00													
	29.80	30.07	31.12													
Díametro (cm)	15.44	15.10	15.28				.00					.00	0	0	0	.00
	15.05	15.33	15.31										25	97	13.9	.05
	15.24	15.02	15.13										50	93	27.8	.12
	15.22	15.17	15.36										75	90	41.7	.17
	14.98	15.24	15.32										100	87	55.7	.22
	15.33	15.04	15.22										125	84	69.6	.27
Peso (Kg)	11.98	12.06	12.22										150	79	83.5	.35
Carga rot.(KN)	393.11	384.7	425.99										175	75	97.4	.42
Tipo de falla	Corte Vertical	Corte Oblicua	Cabezal										200	72	111	.47
													225	67	125	.55
													250	62	139	.63
													275	53	153	.78
													300	51	167	.82
													310	47	173	.88
													320	45	178	.92
													330	42	184	.97
													340	38	189	1.03
													350	35	195	1.08
													355	32.3	198	1.13
													360	30	200	1.17
													365	28	203	1.20
													370	26	206	1.23
													375	21	209	1.32
													380	19	212	1.35
													385	17.5	214	1.38
													390	15.2	217	1.41
													395	11	220	1.48
													400	6	223	1.57
													405	2	225	1.63
													410	96	228	1.73
													415	84	231	1.93
													420	71	234	2.15
													425	51	237	2.48
Peso unitario	2.212 Kg/litro	2.229 Kg/litro	2.199 Kg/litro													
P.U.promedio	2.213 Kg/litro ±0.69%															
Esfuerzo rotura	220.5 Kg/cm ²	217.5 Kg/cm ²	237.1 Kg/cm ²													
Resistencia promedio	225.1 Kg/cm ² ±4.35%															
f'c	212.4 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	0.006462726 -1.8744															
Coefficientes	a=16.863	-b=120.43	c=290.81													
Ecuación σ =	16.863d ³ -120.43d ² +290.81d-1.8744															
Módulo elasticidad (secante)	245000 Kg/cm ²															
Coefficiente por v'f'c	16810															
Observaciones:																

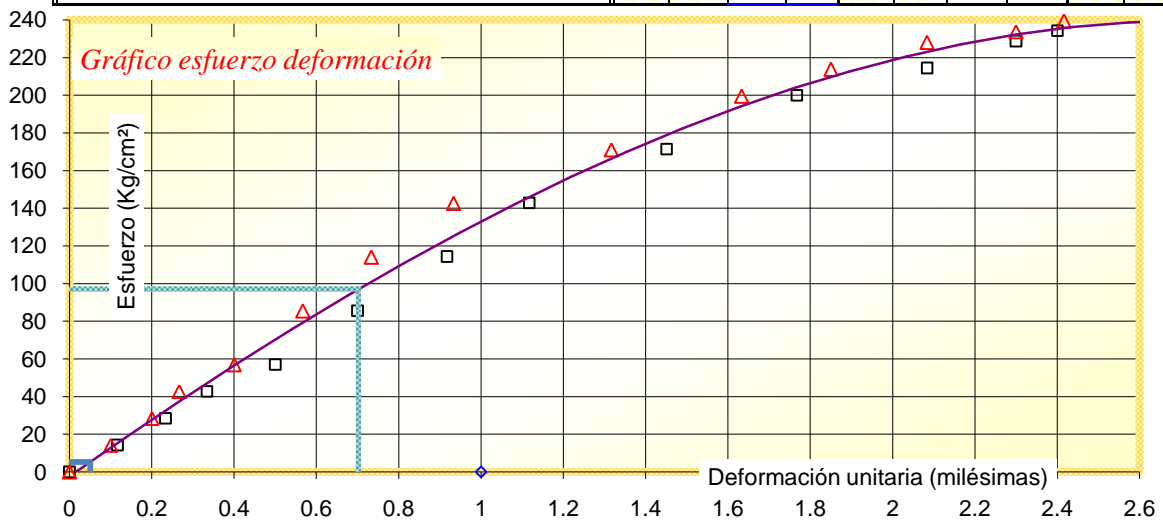


Agua/cemento	0.64	%material fino	0%	Edad	14 días	f'c=	212 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.9 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=14 días

Tabla 5.4 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro								
Elaboración		Martes,14 Noviembre		.64		KN		15.2 cm								
Ensayado		Martes,12 Diciembre		0%		Unidades de carga		Unidad de deformación								
				28		Kg		cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas				
Identificación	9NP	2NP	10NP	Id	9NP				2NP				10NP			
Altura (cm)	30.26 30.02 30.19 30.17	30.35 30.22 30.25 30.29	30.02 29.88 29.68 29.90		Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.11 15.13 15.07 15.15 15.11 15.16	15.17 15.06 14.90 15.07 14.98 15.22	15.29 15.08 14.96 15.04 15.05 15.11				.00		0 25 50 75 100 150 200 250 300 350 375 400 410	0 93 86 80 70 58 45 33 13 94 75 62 56	0 14.3 28.6 42.9 57.2 85.8 114 143 172 200 214 229 234	.00 .12 .23 .33 .50 .70 .92 1.12 1.45 1.77 2.08 2.30 2.40	0 25 50 75 100 150 200 250 300 350 400 410 420 430	0 94 88 84 76 66 56 44 21 2 89 75 62 55 45	0 14.3 28.5 42.8 57 85.5 114 143 171 200 214 228 234 239 245	.00 .10 .20 .27 .40 .57 .73 .93 1.32 1.63 1.85 2.08 2.30 2.42 2.58
Peso (Kg)	11.79	11.77	11.91													
Carga rot.(KN)	448.23	425	447.19													
Tipo de falla	Columnar	Columnar	Columnar													
Gráfico de falla																
Observaciones																
Díametro (cm)	15.12	15.07	15.09													
Sección(cm ²)	179.59	178.29	178.80													
Altura (cm)	30.16	30.28	29.87													
Volumen(cm ³)	5416.52	5398.14	5340.82													
Peso unitario P.U.promedio	2.177 Kg/litro	2.180 Kg/litro	2.230 Kg/litro													
Esfuerzo rotura	254.4 Kg/cm ²	243.0 Kg/cm ²	254.9 Kg/cm ²													
Resistencia promedio		250.8 Kg/cm ²	±2.38%													
f'c		242.7 Kg/cm ²	Alfa=1.2													
Abscisa y ordenada a origen		0.015471964	-2.3835													
Coefficientes	-a=2.9645	-b=15.9285	c=154.3													
Ecuación σ=	-2.9645d ³ -15.9285d ² +154.3d-2.3835															
Módulo elasticidad (secante)	140000 Kg/cm ²															
Coefficiente por v'f'c	8987 vKg/cm															
Observaciones:																

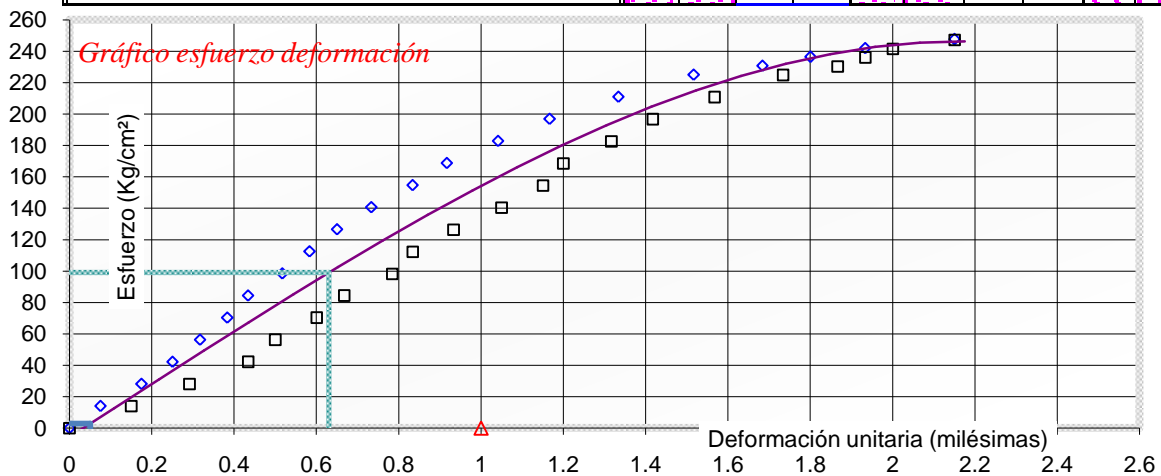


Agua/cemento	0.64	%material fino	0%	Edad	28 días	f'c=	243 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.10 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=28 días

Tabla 5.5 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C .64		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm										
Elaboración Martes, 14 Noviembre				% finos 0%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm										
Ensayado Martes, 09 Enero				Edad (días) 56		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²		δ milésimas						
Identificación	6NP	7NP		6NP				7NP										
Altura (cm)	30.06	30.26		Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas			
	30.03	30.26		0	0	0	.00	0	0	0	.00							
	30.24	30.06		25	95.5	14.1	.08	25	91	14.1	.15							
	30.27	30.33		50	89.5	28.1	.18	50	82.5	28.1	.29							
Diámetro (cm)	15.08	15.18		75	85	42.2	.25	75	74	42.2	.43							
	15.24	15.25		100	81	56.3	.32	100	70	56.2	.50							
	15.18	15.19		125	77	70.4	.38	125	64	70.3	.60							
	15.35	15.29		150	74	84.4	.43	150	60	84.3	.67							
Peso (Kg)	11.94	12.01		175	69	98.5	.52	175	53	98.4	.78							
	454.13	444.08		200	65	113	.58	200	50	112	.83							
Tipo de falla	Corte Diagonal	Cabezal inferior		225	61	127	.65	225	44	126	.93							
Gráfico de falla				250	56	141	.73	250	37	141	1.05							
				275	50	155	.83	275	31	155	1.15							
				300	45	169	.92	300	28	169	1.20							
				325	37.5	183	1.04	325	21	183	1.32							
				350	30	197	1.17	350	15	197	1.42							
				375	20	211	1.33	375	6	211	1.57							
				400	9	225	1.52	400	96	225	1.73							
				410	99	231	1.68	410	88	230	1.87							
				420	92	236	1.80	420	84	236	1.93							
				430	84	242	1.93	430	80	242	2.00							
				440	71	248	2.15	440	71	247	2.15							
							450	40	253	2.67								
			Observaciones															
			Diámetro (cm)	15.19	15.20													
			Sección (cm ²)	181.10	181.38													
Altura (cm)	30.15	30.23																
Volumen (cm ³)	5460.18	5482.63																
Peso unitario	2.187 Kg/litro	2.191 Kg/litro																
P.U.promedio	2.189 Kg/litro ±0.09%																	
Esfuerzo rotura	255.6 Kg/cm ²	249.6 Kg/cm ²																
Resistencia promedio	252.6 Kg/cm ² ±1.20%																	
f'c	247.5 Kg/cm ² Alfa=1.2																	
Abscisa y ordenada a origen	0.033716464 -5.6646																	
Coefficientes	-a=13.6462	b=5.797	c=167.827															
Ecuación $\sigma =$	-13.6462d ³ +5.797d ² +167.827d-5.6646																	
Módulo elasticidad (secante)	165000 Kg/cm ²																	
Coefficiente por v'f'c	10489 vKg/cm																	
Observaciones:																		

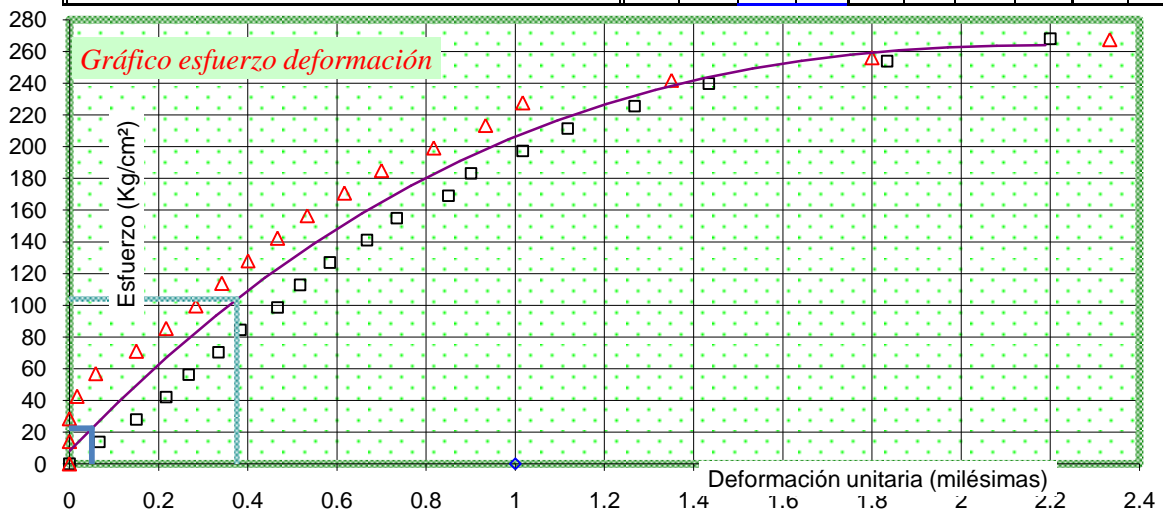


Agua/cemento	0.64	%material fino	0%	Edad	56 días	f'c=	247 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.11 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=0% a edad=56 días

Tabla 5.6 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro 15.2 cm											
Elaboración		Jueves 23, Noviembre		.51		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm											
Ensayado		Jueves 30, Noviembre		0%		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²		δ milésimas							
Edad (días)		7		7															
Identificación	7NB	3NB	2NB	Id															
Altura (cm)	30.17 30.32 30.36 30.18	30.06 30.18 30.16 30.08	30.46 31.20 30.27 30.47	7NB				3NB				2NB							
Díametro (cm)	15.19 15.21 15.18 15.22 15.29 15.24	15.14 15.12 15.17 15.16 15.31 15.11	15.19 15.08 15.06 15.11 15.03 15.14	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm²	d milésimas				
Peso (Kg)	12.2	12.07	12.11	0	0	0	.00	0	0	0	.00	0	0	0	.00				
Carga rot.(KN)	474.01	506.85	471.25	25	96	14.1	.07	25	91	28.2	.15	50	0	14.2	.00				
Tipo de falla	cabezal superior	Cabezal plana	Cabezal	50	91	42.3	.22	75	87	42.7	.27	75	99	42.7	.02				
Gráfico de falla				100	84	56.4	.38	100	87	56.9	.34	100	87	56.9	.34				
				125	80	70.5	.33	125	91	71.1	.15	125	80	70.5	.33	125	91	71.1	.15
				150	77	84.6	.38	150	87	85.4	.22	150	87	85.4	.22	150	87	85.4	.22
				175	72	98.7	.47	175	83	99.6	.28	175	72	98.7	.47	175	83	99.6	.28
				200	69	113	.52	200	69	113	.52	200	69	113	.52	200	69	113	.52
				225	65	127	.58	225	65	127	.58	225	65	127	.58	225	65	127	.58
				250	60	141	.67	250	60	141	.67	250	60	141	.67	250	60	141	.67
				275	56	155	.73	275	56	155	.73	275	56	155	.73	275	56	155	.73
				300	49	169	.85	300	49	169	.85	300	49	169	.85	300	49	169	.85
				325	46	183	.90	325	46	183	.90	325	46	183	.90	325	46	183	.90
				350	39	197	1.02	350	39	197	1.02	350	39	197	1.02	350	39	197	1.02
				375	33	212	1.12	375	33	212	1.12	375	33	212	1.12	375	33	212	1.12
				400	24	226	1.27	400	24	226	1.27	400	24	226	1.27	400	24	226	1.27
				425	14	240	1.43	425	14	240	1.43	425	14	240	1.43	425	14	240	1.43
				450	90	254	1.83	450	90	254	1.83	450	90	254	1.83	450	90	254	1.83
475	68	268	2.20	475	68	268	2.20	475	68	268	2.20	475	68	268	2.20				
Observaciones																			
Díametro (cm)	15.22	15.17	15.10																
Sección(cm²)	181.98	180.70	179.12																
Altura (cm)	30.26	30.12	30.60																
Volumen(cm³)	5506.14	5442.78	5481.02																
Peso unitario	2.216 Kg/litro	2.218 Kg/litro	2.209 Kg/litro																
Esfuerzo rotura	265.5 Kg/cm²	285.9 Kg/cm²	268.2 Kg/cm²																
Resistencia promedio	273.2 Kg/cm² ±3.73%																		
f'c	259.9 Kg/cm²			Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	-0.027252275			8.1055															
Coefficientes	a=12.6505	b=108.81	c=294.45																
Ecuación σ =	12.6505d³-108.81d²+294.45d+8.1055																		
Módulo elasticidad (secante)	250000 Kg/cm²																		
Coefficiente por √f'c	15507 √Kg/cm																		
Observaciones:	Deformímetro inicio su movimiento en 75 KN																		

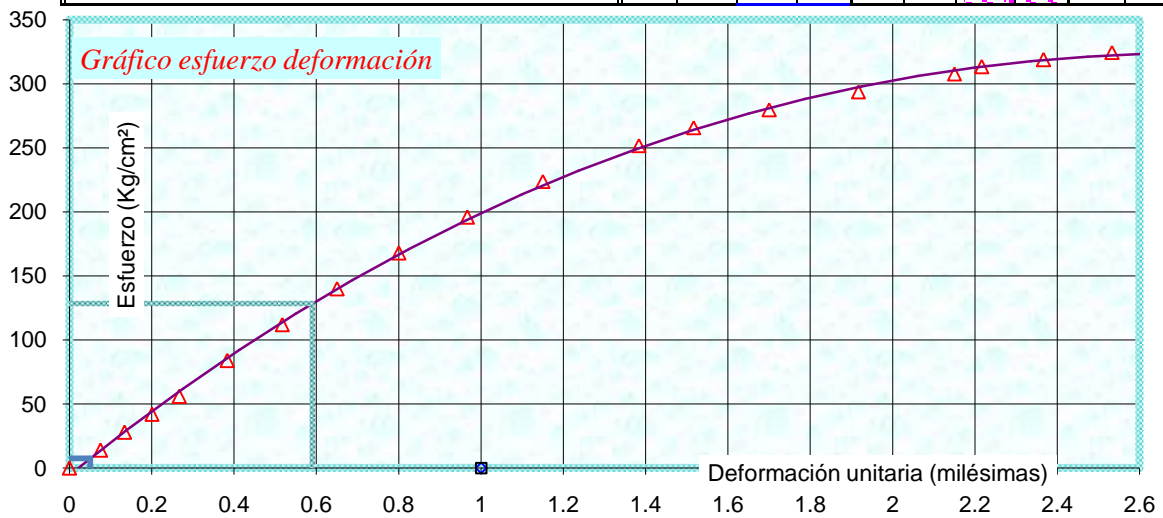


Agua/cemento	0.51	%material fino	0%	Edad	7 días	f'c=	260 Kg/cm²
--------------	------	----------------	----	------	--------	------	------------

Gráfico 5.12 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=7 días

Tabla 5.7 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm						
Elaboración				.51		KN		Unidad de deformación		.001 mm						
Ensayado				14		Kg		σ Kg/cm²		δ milésimas						
Sábado 14, Enero				Edad (días)		Dimensión cm		δ		milésimas						
Identificación	4NB	5NB	6NB	Id	4NB				5NB				6NB			
Altura (cm)	30.12 30.11 30.21 30.23	30.15 30.20 30.07 30.18	30.16 31.19 30.00 29.99		Carga KN	Def. .0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	Carga KN	Def. .0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	Carga KN	Def. .0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.26 15.16 15.04 15.23 15.12 15.17	15.09 15.18 15.15 15.01 15.36 15.14	15.02 15.18 15.48 15.24 15.31 15.15				.00				.00		0 25 50 75 100 150 200 250 300 350 400 450 475 500 525 550 560 570 580	0 95.5 92 88 84 77 69 61 52 42 31 17 9 98 85 71 67 58 48	0 14 28 42 56 83.9 112 140 168 196 224 252 266 280 294 308 313 319 325	.00 .08 .13 .20 .27 .38 .52 .65 .80 .97 1.15 1.38 1.52 1.70 1.92 2.15 2.22 2.37 2.53
Peso (Kg)	12.07	12.11	12.1													
Carga rot.(KN)	623.74	592.02	581.15													
Tipo de falla	Cabezal	Cabezal y corte	Corte convexo													
Gráfico de falla																
Observaciones																
Diámetro (cm)	15.16	15.16	15.23													
Sección(cm²)	180.58	180.39	182.18													
Altura (cm)	30.17	30.15	30.34													
Volumen(cm³)	5447.77	5438.62	5526.29													
Peso unitario	2.216 Kg/litro	2.227 Kg/litro	2.190 Kg/litro													
P.U.promedio	2.211 Kg/litro		±0.84%													
Esfuerzo rotura	352.1 Kg/cm²	334.6 Kg/cm²	325.2 Kg/cm²													
Resistencia promedio	337.3 Kg/cm²		±3.99%													
f'c	320.9 Kg/cm²		Alfa=1.2													
Abscisa y ordenada a origen	0.020906301		-5.4202													
Coefficientes	a=2.7874	b=58.818	c=260.49													
Ecuación σ =	2.7874d³-58.818d²+260.49d-5.4202															
Módulo elasticidad (secante)	223000 Kg/cm²															
Coefficiente por v'f'c	12449 v'Kg/cm															
Observaciones:																

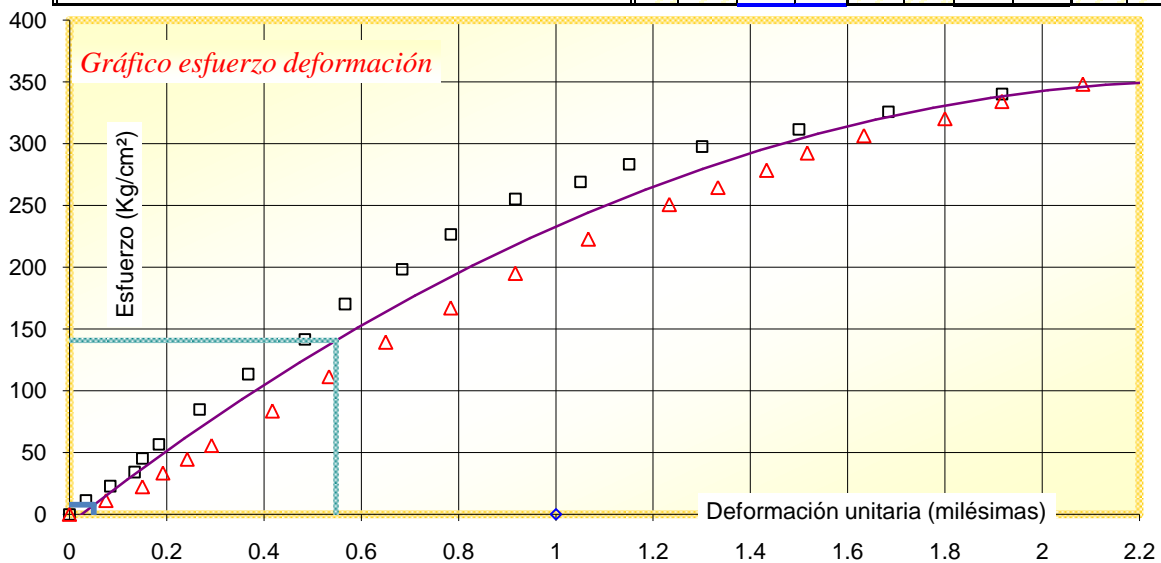


Agua/cemento	0.51	%material fino	0%	Edad	14 días	f'c=	321 Kg/cm²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------

Gráfico 5.13 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=14 días

Tabla 5.8 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C .51		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro 15.2 cm														
Elaboración Jueves 23, Noviembre				% finos 0%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm														
Ensayado Jueves 21, Diciembre				Edad (días) 28		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²		δ milésimas										
Identificación	1NB	8NB	9NB	Id	1NB				8NB				9NB									
Altura (cm)	30.29	30.10	30.24	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas							
	30.13	30.08	31.38																			
	30.05	30.30	31.30																			
	30.15	30.27	31.09																			
Diámetro (cm)	15.25	15.24	15.34				.00	0	40	0	.00	0	0	0	.00							
	15.27	15.24	15.30																			
	14.95	15.00	15.22																			
	15.15	15.10	15.19																			
	15.15	15.09	15.33																			
Peso (Kg)	12.15	12.1	12.25	150	24	85	.27	150	75	83.5	.42	200	68	111	.53							
Carga rot.(KN)	679.71	650.78	637.88	200	18	113	.37	200	68	111	.53	250	11	142	.48	250	61	139	.65			
Tipo de falla	Corte paralelo con deslizamiento	Corte tipo Calabaza	Cabezal y corte plano	250	6	170	.57	300	53	167	.78	350	99	198	.68	350	45	195	.92			
Gráfico de falla				350	93	227	.78	400	36	223	1.07	450	85	255	.92	450	26	251	1.23			
				475	77	269	1.05	475	20	265	1.33											
				500	71	283	1.15	500	14	278	1.43											
				525	62	298	1.30	525	9	292	1.52											
				550	50	312	1.50	550	2	306	1.63											
				575	39	326	1.68	575	92	320	1.80											
				600	25	340	1.92	600	85	334	1.92											
				625	6	354	2.23	625	75	348	2.08											
				Observaciones																		
				Diámetro (cm)	15.15	15.13	15.27															
				Sección (cm ²)	180.23	179.87	183.05															
				Altura (cm)	30.16	30.19	31.00															
				Volumen (cm ³)	5434.74	5429.83	5675.12															
				Peso unitario P.U.promedio	2.236 Kg/litro	2.228 Kg/litro	2.159 Kg/litro															
				Esfuerzo rotura	384.4 Kg/cm ²	368.8 Kg/cm ²	355.2 Kg/cm ²															
Resistencia promedio	369.5 Kg/cm ² ±3.96%																					
f'c	351.9 Kg/cm ² Alfa=1.2																					
Abscisa y ordenada a origen	0.024647328 -7.545																					
Coefficientes	a=0.935	b=68.2505	c=307.8																			
Ecuación $\sigma =$	0.935d ³ -68.2505d ² +307.8d-7.545																					
Módulo elasticidad (secante)	267000 Kg/cm ²																					
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	14232 $\sqrt{Kg/cm}$																					
Observaciones:	Módulo de elasticidad no es confiable excesivo movimiento de deformímetro																					

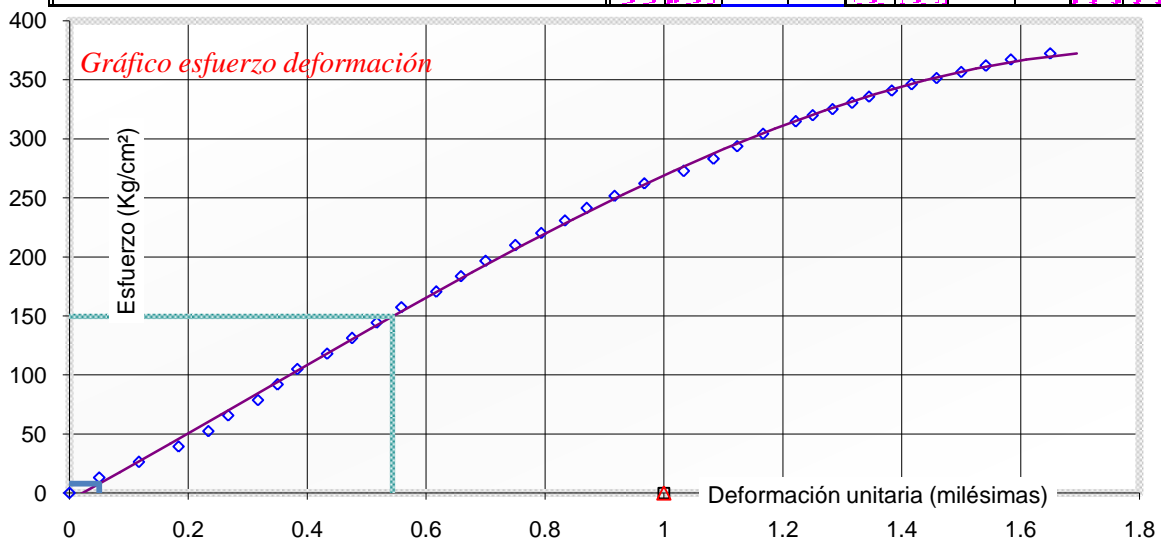


Agua/cemento	0.51	%material fino	0%	Edad	28 días	f'c=	352 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.14 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=28 días

Tabla 5.9 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro							
Elaboración		Jueves 23, Noviembre		.51		KN		15.2 cm							
Ensayado		Jueves 18, Enero		0%		Unidades de carga		Unidad de deformación							
				56		Kg		cm							
						cm		Kg/cm ²							
						cm		milésimas							
Identificación	NB12	NB13	NB14	Id											
Altura (cm)	31.22	30.10	30.92	NB12											
	31.16	30.10	31.12	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
	31.16	30.33	31.10												
Diámetro (cm)	15.69	15.10	15.67	0	0	0	.00				.00				.00
	15.83	15.22	15.79	25	97	13.1	.05								
	15.68	15.32	15.65	50	93	26.2	.12								
	15.70	15.12	15.70	75	89	39.3	.18								
	15.72	15.10	15.71	100	86	52.4	.23								
	15.77	15.23	15.80	125	84	65.6	.27								
Peso (Kg)	13.37	12.11	13.22	150	81	78.7	.32								
Carga rot.(KN)	719.56	680.92	715.22	175	79	91.8	.35								
Tipo de falla	cabezal inferior	Cabezal conica	Cabezal	200	77	105	.38								
Gráfico de falla				225	74	118	.43								
				250	71.5	131	.48								
				275	69	144	.52								
				300	66.5	157	.56								
				325	63	170	.62								
				350	60.5	184	.66								
				375	58	197	.70								
				400	55	210	.75								
				420	52.4	220	.79								
				440	50	231	.83								
				460	47.8	241	.87								
	Observaciones				480	45	252	.92							
				500	42	262	.97								
				520	38	273	1.03								
				540	35	283	1.08								
Diámetro (cm)	15.73	15.18	15.72	560	32.6	294	1.12								
Sección(cm ²)	194.37	181.02	194.09	580	30	304	1.17								
Altura (cm)	31.19	30.23	31.04	600	26.7	315	1.22								
Volumen(cm ³)	6062.54	5472.72	6024.44	610	25	320	1.25								
Peso unitario	2.205 Kg/litro	2.213 Kg/litro	2.194 Kg/litro	620	23	325	1.28								
P.U.promedio	2.204 Kg/litro ±0.42%			630	21	330	1.32								
Esfuerzo rotura	377.4 Kg/cm ²	383.4 Kg/cm ²	375.6 Kg/cm ²	640	19.3	336	1.35								
Resistencia promedio	378.8 Kg/cm ² ±1.03%			650	17	341	1.38								
f'c	373.9 Kg/cm ² Alfa=1.2			660	15	346	1.42								
Abscisa y ordenada a origen	0.022241878			670	12.5	351	1.46								
Coefficientes	-a=43.058	b=41.438	c=276.81	680	10	357	1.50								
Ecuación $\sigma =$	$-43.058d^3 + 41.438d^2 + 276.81d - 6.1768$			690	7.5	362	1.54								
Módulo elasticidad (secante)	287000 Kg/cm ²			700	5	367	1.58								
Coefficiente por v'f'c	14842 vKg/cm			710	1	372	1.65								
Observaciones:															

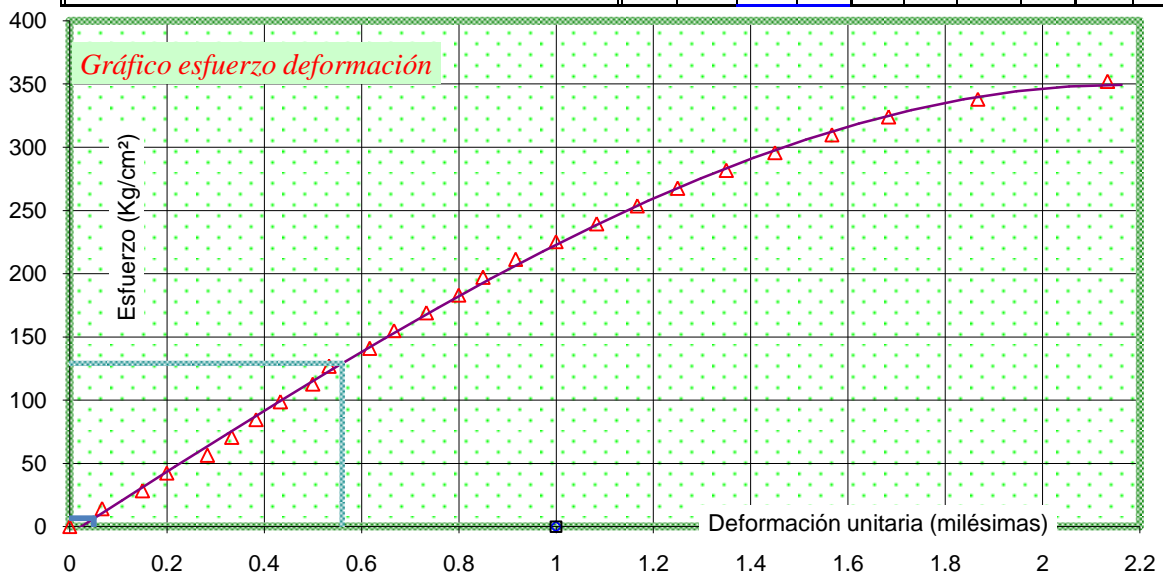


Agua/cemento	0.51	%material fino	0%	Edad	56 días	f'c=	374 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.15 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=0% a edad=56 días

Tabla 5.10 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=7 días


Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro			
Elaboración		Viernes 17, Noviembre		.38		KN		15.2 cm			
Ensayado		Viernes 24, Noviembre		0%		Unidades de carga		Unidad de deformación			
				Edad (días)		Kg		Kg/cm ²			
				7		Dimensión		δ milésimas			
						cm					
Identificación	1NC	2NC	3NC	Id	1NC	2NC	3NC				
Altura (cm)	30.28 30.16 30.24 30.24	30.38 30.45 30.36 30.26	30.38 30.30 30.49 30.59	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.14 15.13 15.27 15.45 15.22 15.03	15.14 15.22 15.22 15.31 15.03 15.22	15.42 15.07 15.21 15.21 15.14 15.03				.00				.00
Peso (Kg)	12.12	12.15	12.19					0	0	0	.00
Carga rot.(KN)	733.31	602.92	629.08					25	96	14.1	.07
Tipo de falla	Corte	Cabezal	Cabezal					50	91	28.2	.15
Gráfico de falla								75	88	42.2	.20
								100	83	56.3	.28
								125	80	70.4	.33
								150	77	84.5	.38
								175	74	98.6	.43
								200	70	113	.50
								225	68	127	.53
								250	63	141	.62
								275	60	155	.67
								300	56	169	.73
								325	52	183	.80
								350	49	197	.85
								375	45	211	.92
								400	40	225	1.00
				Observaciones							
								450	30	253	1.17
								475	25	268	1.25
								500	19	282	1.35
								525	13	296	1.45
								550	6	310	1.57
								575	99	324	1.68
								600	88	338	1.87
								625	72	352	2.13
Díametro (cm)	15.21	15.19	15.18								
Sección(cm ²)	181.62	181.22	180.98								
Altura (cm)	30.23	30.36	30.44								
Volumen(cm ³)	5490.30	5502.28	5509.07								
Peso unitario	2.208 Kg/litro	2.208 Kg/litro	2.213 Kg/litro								
P.U.promedio	2.209 Kg/litro		±0.12%								
Esfuerzo rotura	411.6 Kg/cm ²	339.1 Kg/cm ²	354.3 Kg/cm ²								
Resistencia promedio	368.4 Kg/cm ²		±9.83%								
f'c	322.5 Kg/cm ²		Alfa=1.2								
Abscisa y ordenada a origen	0.024128933		-5.9432								
Coefficientes	-a=17.552	b=0.0134	c=246.32								
Ecuación σ =	-17.552d ³ +0.0134d ² +246.32d-5.9432										
Módulo elasticidad (secante)	240000 Kg/cm ²										
Coefficiente por v'f'c	13364 vKg/cm										
Observaciones:											

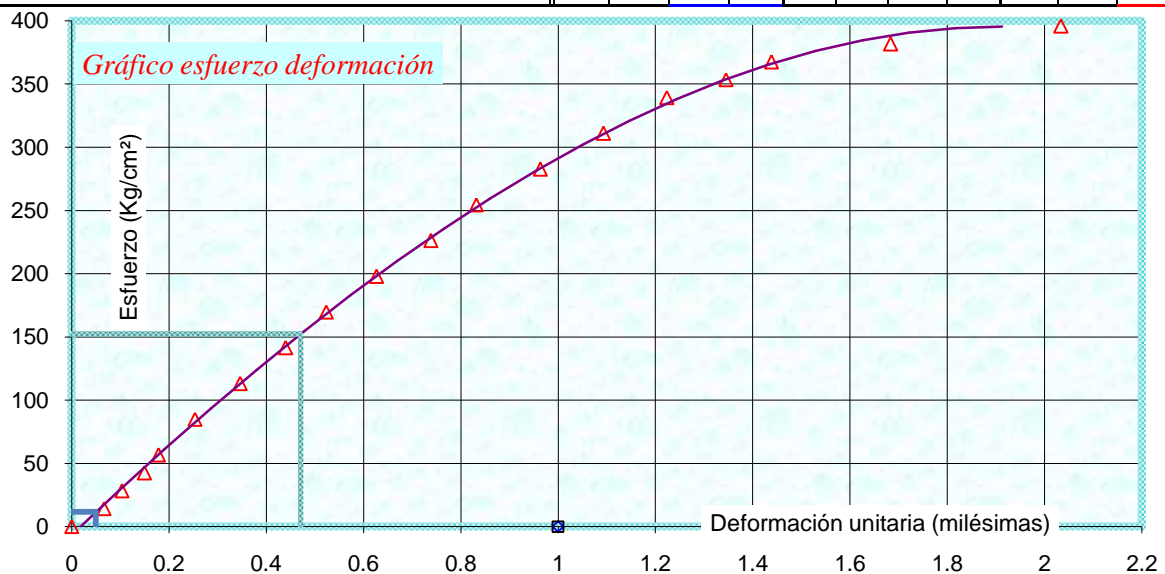


Agua/cemento	0.38	%material fino	0%	Edad	7 días	f'c=	323 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	--------	------	------------------------

Gráfico 5.16 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=7 días

Tabla 5.11 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro										
Elaboración		Viernes 17, Noviembre		.38		KN		15.2 cm										
Ensayado		Viernes 01, Diciembre		0%		Unidades de carga		Unidad de deformación										
				Edad (días)		cm		σ Kg/cm ²										
				14		δ milésimas												
Identificación	4NC	5NC	6NC	Id	4NC				5NC				6NC					
	Altura (cm)	30.08	30.54		30.25	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	
		29.98	30.26		30.18													
		30.07	30.31		30.25													
	30.25	30.19	30.21															
Diámetro (cm)	14.99	15.06	15.22				.00					.00	0	0	0	.00		
	15.15	15.18											25	96	14.1	.07		
	15.38	14.92	15.22										50	93.8	28.3	.10		
	15.18	15.20	15.11										75	91	42.4	.15		
	15.16	15.12	15.02										100	89.3	56.5	.18		
	15.23	15.37	15.18										150	84.8	84.8	.25		
Peso (Kg)	12.01	12.06	12.01										200	79.2	113	.35		
Carga rot.(KN)	745.86	746.37	700.9										250	73.6	141	.44		
Tipo de falla	cabezal inferior	Cabezal (explotó)	Cabezal										300	68.6	170	.52		
Gráfico de falla														350	62.4	198	.63	
														400	55.7	226	.74	
														450	50.1	254	.83	
														500	42.2	283	.96	
														550	34.4	311	1.09	
														600	26.6	339	1.22	
														625	19.3	353	1.35	
														650	13.7	368	1.44	
														675	99	382	1.68	
														700	78	396	2.03	
	Observaciones																	
	Diámetro (cm)	15.18	15.14	15.15														
	Sección(cm ²)	181.02	180.07	180.27														
	Altura (cm)	30.10	30.33	30.22														
Volumen(cm ³)	5447.82	5460.57	5448.11															
Peso unitario	2.205 Kg/litro	2.209 Kg/litro	2.204 Kg/litro															
P.U.promedio		2.206 Kg/litro	±0.09%															
Esfuerzo rotura	420.0 Kg/cm ²	422.5 Kg/cm ²	396.3 Kg/cm ²															
Resistencia promedio		413.0 Kg/cm ²	±3.17%															
f'c		395.6 Kg/cm ²	Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen		0.018420855	-6.7073															
Coefficientes	-a=15.346	-b=51.589	c=365.07															
Ecuación σ=	-15.346d ³ -51.589d ² +365.07d-6.7073																	
Módulo elasticidad (secante)	334000 Kg/cm ²																	
Coefficiente por √f'c	16792 √Kg/cm																	
Observaciones:																		

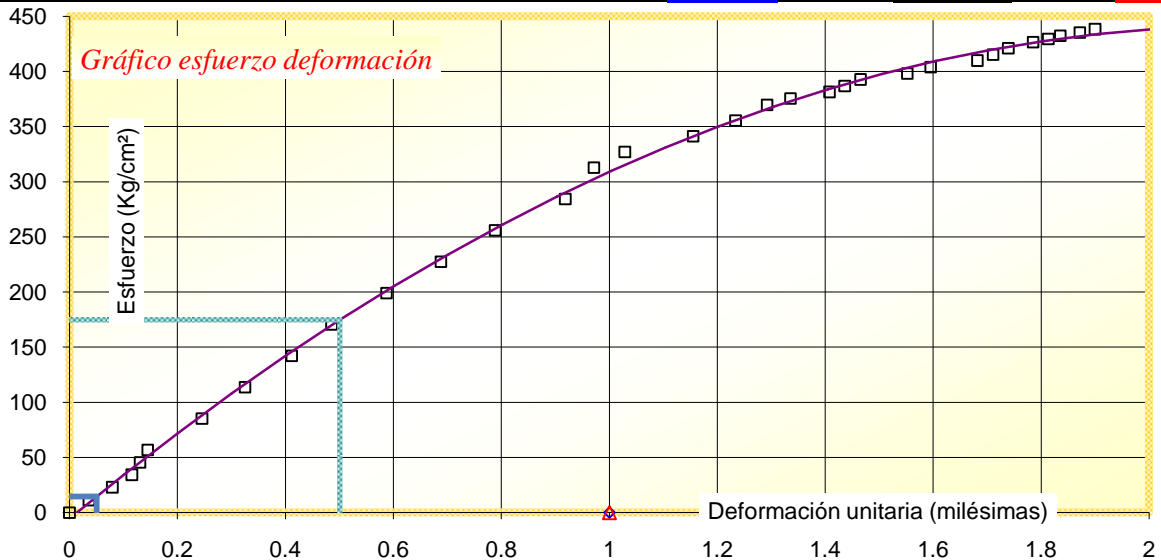


Agua/cemento	0.38	%material fino	0%	Edad	14 días	f'c=	396 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.17 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=14 días

Tabla 5.12 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=28 días


Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm											
Elaboración		Viernes 17, Noviembre		.38		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm									
Ensayado		Viernes 15, Diciembre		0%		Peso		Kg		Dimensión		cm									
				Edad (días)		28				σ		Kg/cm ²									
										δ		milésimas									
Identificación	NC7	NC8	NC9	Id		NC7		NC8		NC9											
Altura (cm)	30.85	30.80	30.74	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas						
	30.90	30.39	30.49																		
	30.30	30.52	30.14																		
	30.28	30.44	29.96																		
Diámetro (cm)	15.12	15.12	14.98				.00	0	67	0	.00										
	15.27	15.14	15.17					20	61.5	11.4	.04										
	15.09	15.16	15.06					40	54.9	22.8	.08										
	15.23	15.04	14.91					60	49.4	34.1	.12										
	15.10	15.06	14.99					80	47.2	45.5	.13										
	15.23	15.09	14.93					100	45	56.9	.14										
Peso (Kg)	12.13	12.07	11.79	150	29.6	85.4	.25	200	17.5	114	.32	250	4.3	142	.41						
Carga rot.(KN)	818.12	770.75	782.08	300	93	171	.49	350	77.6	199	.59	400	62.2	228	.69						
Tipo de falla	cabezal inferior se pulveriza	Se fractura en la parte media(explo.)	Cabezal	450	46.8	256	.79	500	27	285	.92	550	19	313	.97						
Gráfico de falla				575	10.2	327	1.03	600	91	341	1.15	625	78.9	356	1.23	650	70.1	370	1.29		
				660	63.5	376	1.34	670	52.5	381	1.41	680	48.1	387	1.44	690	43.7	393	1.47		
				700	30.5	398	1.55	710	23.9	404	1.60	720	10.7	410	1.68	730	6.3	415	1.71		
				740	1.9	421	1.74	750	95	427	1.78	755	90.6	430	1.81	760	87.3	433	1.84		
				765	81.8	435	1.87	770	77.4	438	1.90										
				Observaciones																	
				Diámetro (cm)	15.17	15.10	15.01														
				Sección(cm ²)	180.82	179.12	176.87														
				Altura (cm)	30.58	30.54	30.33														
				Volumen(cm ³)	5530.00	5469.82	5364.96														
				Peso unitario P.U.promedio	2.193 Kg/litro	2.207 Kg/litro	2.198 Kg/litro														
				Esfuerzo rotura	461.2 Kg/cm ²	438.6 Kg/cm ²	450.7 Kg/cm ²														
				Resistencia promedio	450.2 Kg/cm ² ±2.51%																
				f'c	436.6 Kg/cm ²																
				Alfa=1.2	0.013758938																
Abscisa y ordenada a origen	-5.5546																				
Coefficientes	-a=1.0456	-b=89.493	c=404.94																		
Ecuación	-1.0456d ³ -89.493d ² +404.94d-5.5546																				
Módulo elasticidad (secante)	355000 Kg/cm ²																				
Coefficiente por √f'c	16989 √Kg/cm																				
Observaciones:																					

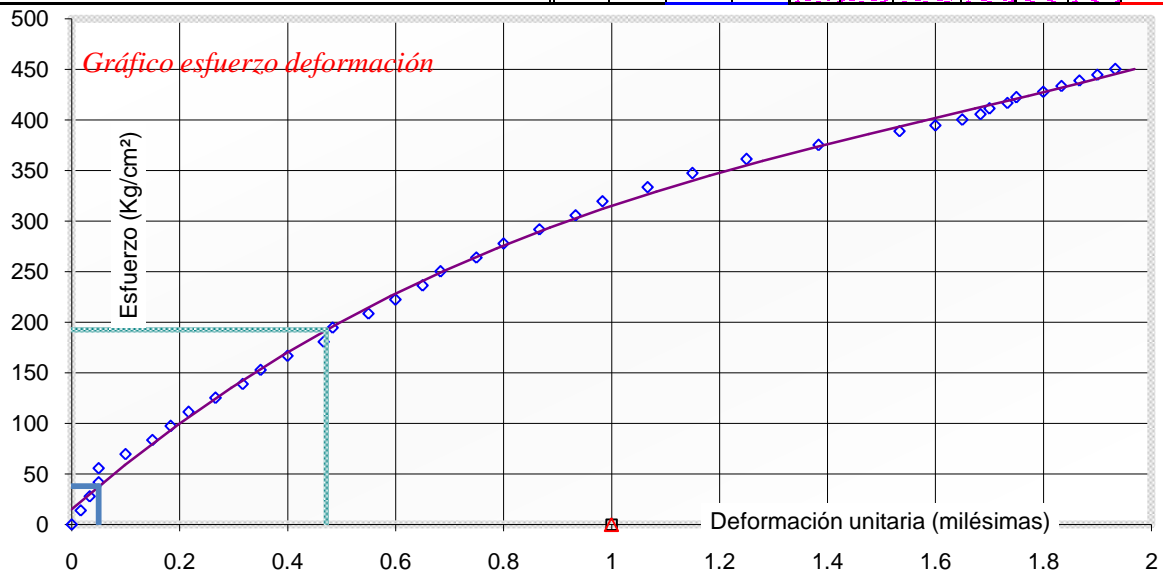


Agua/cemento	0.38	%material fino	0%	Edad	28 días	f'c=	437 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.18 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=28 días

Tabla 5.13 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro			
Elaboración		Viernes 17, Noviembre		.38		Unidades de carga		15.2 cm			
Ensayado		Viernes 12, Enero		0%		KN		Unidad de deformación			
				Edad (días)		56		Kg/cm ²		.001 mm	
						Peso		Kg		Dimensión	
								cm		σ	
								Kg/cm ²		δ	
								milésimas			
Identificación	12NC	14NC		Id	12NC	14NC					
Altura (cm)	30.32 30.15 30.28 30.16	30.30 30.26 30.31 30.33		Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.25 15.36 15.18 15.34 15.36 15.21	15.23 15.25 15.32 15.32 15.34 15.13		0	3	0	.00				.00
Peso (Kg)	12.15	12.26		25	2	13.9	.02				
Carga rot.(KN)	871.92	865.3		50	1	27.8	.03				
Tipo de falla	cabezal inferior	Cabezal conica		75	0	41.7	.05				
Gráfico de falla				100	100	55.6	.05				
Observaciones				125	97	69.5	.10				
Díametro (cm)	15.28	15.27		150	94	83.3	.15				
Sección(cm ²)	183.45	183.01		175	92	97.2	.18				
Altura (cm)	30.23	30.30		200	90	111	.22				
Volumen(cm ³)	5545.34	5545.31		225	87	125	.27				
Peso unitario	2.191 Kg/litro	2.211 Kg/litro		250	84	139	.32				
P.U.promedio	2.201 Kg/litro ±0.45%			275	82	153	.35				
Esfuerzo rotura	484.5 Kg/cm ²	482.0 Kg/cm ²		300	79	167	.40				
Resistencia promedio	483.2 Kg/cm ² ±0.26%			325	75	181	.47				
f'c	481.1 Kg/cm ² Alfa=1.2			350	74	194	.48				
Abscisa y ordenada a origen	-0.031894536 15.001			375	70	208	.55				
Coefficientes	a=41.83	-b=205.64	c=463.73	400	67	222	.60				
Ecuación σ=	41.83d ³ -205.64d ² +463.73d+15.001			425	64	236	.65				
Módulo elasticidad (secante)	366000 Kg/cm ²			450	62	250	.68				
Coefficiente por √f'c	16687 √Kg/cm			475	58	264	.75				
Observaciones:				500	55	278	.80				
				525	51	292	.87				
				550	47	306	.93				
				575	44	320	.98				
				600	39	333	1.07				
				625	34	347	1.15				
				650	28	361	1.25				
				675	20	375	1.38				
				700	11	389	1.53				
				710	7	395	1.60				
				720	4	400	1.65				
				730	2	406	1.68				
				740	1	411	1.70				
				750	99	417	1.73				
				760	98	422	1.75				
				770	95	428	1.80				
				780	93	433	1.83				
				790	91	439	1.87				
				800	89	445	1.90				
				810	87	450	1.93				

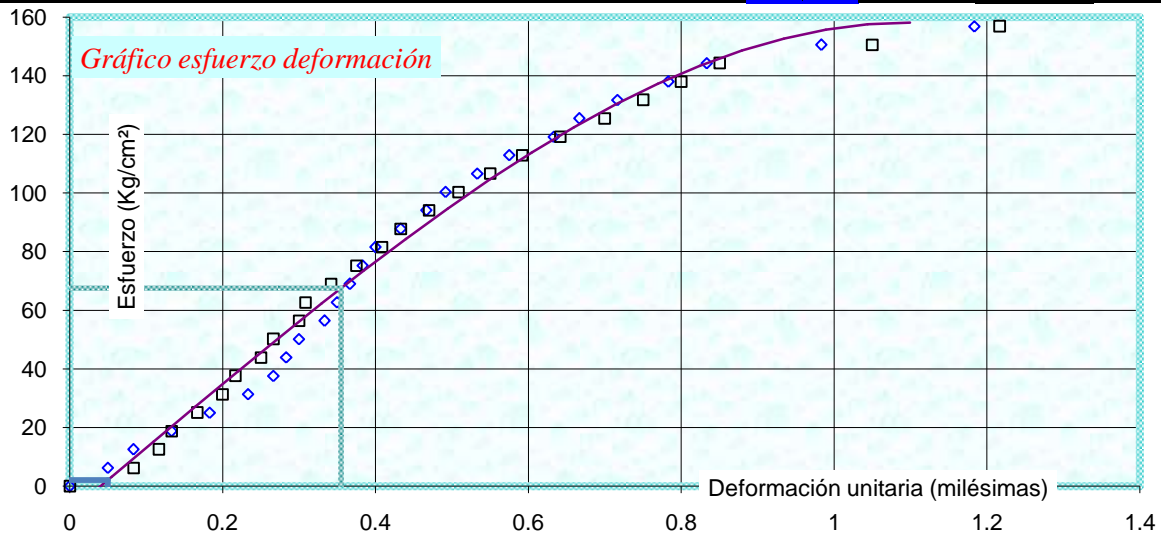


Agua/cemento	0.38	%material fino	0%	Edad	56 días	f'c=	481 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.19 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=0% a edad=56 días

Tabla 5.15 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm									
Elaboración Lunes 08, Enero				.64		Unidades de carga Kip		Unidad de deformación .001 mm									
Ensayado Lunes 22, Enero				5%		Peso Kg		cm		σ Kg/cm²		δ milésimas					
Edad (días)				14		Dimensión											
Identificación	8G	6G	7G	Id	8G				6G				7G				
Altura (cm)	30.23 30.20 30.08 30.12	30.24 30.12 30.18 30.12	30.54 30.37 30.33 30.38		Carga Kip	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	Carga Kip	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	Carga Kip	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	
Díametro (cm)	15.27 15.08 15.28 15.08 15.36 14.96	15.38 15.04 15.13 15.16 15.13 15.17	15.28 15.22 15.16 15.37 15.18 15.24		0 2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5	0 97 95 92 89 86 84 83	0 6.27 12.5 18.8 25.1 31.4 37.6 43.9	.00 .05 .08 .13 .18 .23 .27 .28	0 2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5	33 28 26 25 23 21 20 18	0 6.28 12.6 18.8 25.1 31.4 37.7 43.9	.00 .08 .12 .13 .17 .20 .22 .25				.00	
Peso (Kg) Carga rot.(Kip)	12.03 68	12.13 67.5	12.29 69.5		20 22.5 25 27.5 30 32.5 35 37.5 40 42.5 45 47.5 50 52.5 55 57.5 60 62.5	82 80 79 78 77 76 74 72 70.5 68 65.5 62 60 57 55 53 50 47.5 45 42.5 40 37.5 35 32.5 30 27.5 25 22.5 20 17.5	50.2 56.5 62.7 69 75.3 81.5 87.8 94.1 100 107 113 119 125 132 138 144 151 157	.30 .33 .35 .37 .38 .40 .43 .47 .49 .53 .58 .63 .67 .72 .78 .83 .88 .98 1.18	20 22.5 25 27.5 30 32.5 35 37.5 40 42.5 45 47.5 50 52.5 55 57.5 60 62.5	17 15 14.5 12.5 10.5 8.5 7 4.8 2.5 0 97.5 94.5 91 88 85 82 70 60 50	50.2 56.5 62.8 69 75.3 81.6 87.9 94.1 100 107 113 119 126 132 138 144 151 157 163	.27 .30 .31 .34 .38 .41 .43 .47 .51 .55 .59 .64 .70 .75 .80 .85 1.05 1.22 1.38					
Tipo de falla	Cabezal inferior	Cabezal y corte	Cabezal														
Gráfico de falla																	
Observaciones																	
Diámetro (cm)	15.17	15.17	15.24														
Sección(cm²)	180.78	180.70	182.45														
Altura (cm)	30.16	30.17	30.41														
Volumen(cm³)	5451.95	5450.91	5547.53														
Peso unitario	2.207 Kg/litro	2.225 Kg/litro	2.215 Kg/litro														
P.U.promedio	2.216 Kg/litro ±0.42%																
Esfuerzo rotura	170.6 Kg/cm²	169.4 Kg/cm²	172.8 Kg/cm²														
Resistencia promedio	170.9 Kg/cm² ±0.98%																
f'c	168.9 Kg/cm²																
Alfa=1.2																	
Abscisa y ordenada a origen	0.040151497 -8.7081																
Coefficientes	-a=73.5145	b=22.2805	c=216.105														
Ecuación	$\sigma = -73.5145d^3 + 22.2805d^2 + 216.105d - 8.7081$																
Módulo elasticidad (secante)	214000 Kg/cm²																
Coeficiente por $\sqrt{f'c}$	16466 $\sqrt{Kg/cm}$																
Observaciones:																	

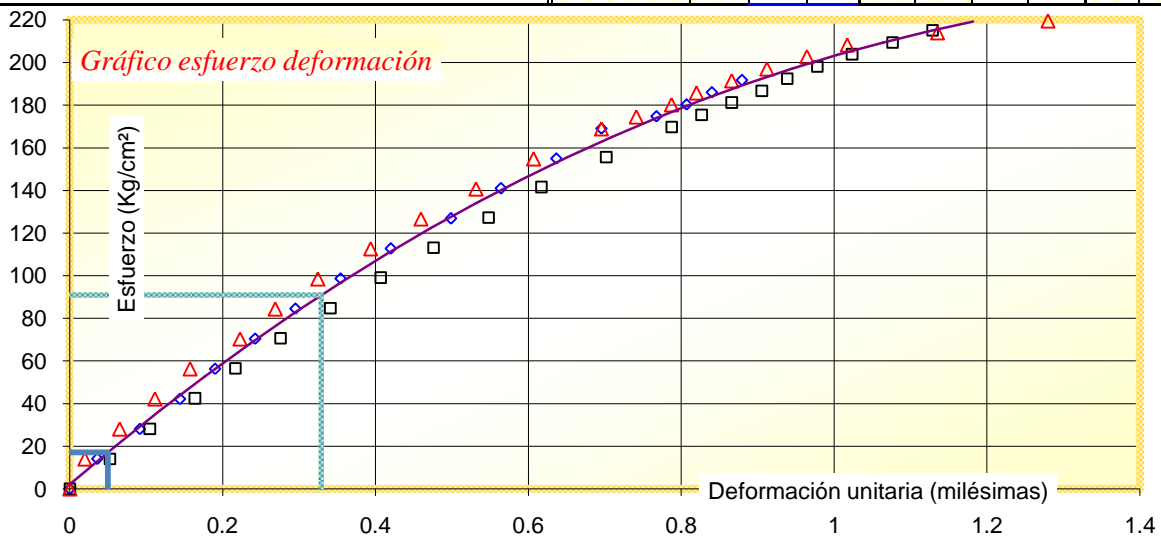


Agua/cemento	0.64	%material fino	5%	Edad	14 días	f'c=	169 Kg/cm²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------

Gráfico 5.21 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=14 días

Tabla 5.16 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=28 días


Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro												
Elaboración		Lunes 08, Enero		.64		KN		15.2 cm												
Ensayado		Lunes 05, Febrero		5%		Unidades de carga		Unidad de deformación												
				28		Kg		cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas								
Identificación	9G	11G	12G	Id	9G				11G				12G							
Altura (cm)	30.02 30.08 29.92 30.04	30.45 30.45 30.44 30.50	30.59 30.53 30.65 30.48		Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas				
Díametro (cm)	14.99 15.30 15.24 15.14 15.24 15.13	15.23 15.08 15.07 15.20 15.14 15.12	15.20 15.14 15.24 15.21 15.20 15.12		0	53	0	.00	0	82	0	.00	0	45	0	.00				
Peso (Kg)	12.09	12.18	12.18		25	58.5	14.1	.04	25	90	14.2	.05	25	48	14.1	.02				
Carga rot.(KN)	404	416	424		50	67	28.2	.09	50	98	28.3	.10	50	55	28.1	.07				
Tipo de falla	Corte concava	Cabezal	Cabezal		75	75	42.3	.14	75	7	42.5	.16	75	62	42.2	.11				
Gráfico de falla					100	82	56.4	.19	100	15	56.6	.22	100	69	56.3	.16				
					125	90	70.5	.24	125	24	70.8	.28	125	79	70.4	.22				
					150	98	84.6	.30	150	34	84.9	.34	150	86	84.4	.27				
					175	7	98.7	.35	175	44	99.1	.41	175	94.5	98.5	.32				
					200	17	113	.42	200	54.5	113	.48	200	5	113	.39				
					225	29	127	.50	225	65.5	127	.55	225	15	127	.46				
					250	39	141	.56	250	76	142	.62	250	26	141	.53				
					275	50	155	.64	275	89	156	.70	275	37.5	155	.61				
					300	59	169	.70	300	2	170	.79	300	51	169	.70				
					310	70	175	.77	310	8	176	.83	310	58	174	.74				
					320	76	180	.81	320	14	181	.87	320	65	180	.79				
					330	81	186	.84	330	20	187	.91	330	70	186	.82				
					340	87	192	.88	340	25	193	.94	340	77	191	.87				
				Observaciones					350	31	198	.98	350	84	197	.91	350	92	203	.96
				Díametro (cm)	15.17	15.14	15.19		360	38	204	1.02	360	92	203	.96	360	0	208	1.02
Sección(cm ²)	180.82	180.03	181.10		370	46	210	1.08	370	18	214	1.14	370	18	214	1.14				
Altura (cm)	30.02	30.46	30.56		380	54	215	1.13	380	40	220	1.28	380	40	220	1.28				
Volumen(cm ³)	5427.38	5483.67	5534.88		390	62	221	1.18	390	40	225	1.35	390	50	225	1.35				
Peso unitario	2.228 Kg/litro	2.221 Kg/litro	2.201 Kg/litro		400	70	226	1.23	400	50	225	1.35	400	65	231	1.44				
P.U.promedio	2.216 Kg/litro ±0.61%				410	80	232	1.30	410	65	231	1.44	410	65	231	1.44				
Esfuerzo rotura	227.8 Kg/cm ²	235.5 Kg/cm ²	238.7 Kg/cm ²		415	95	235	1.40	415	95	235	1.40	415	95	235	1.40				
Resistencia promedio	234.0 Kg/cm ² ±2.33%																			
f'c	227.2 Kg/cm ² Alfa=1.2																			
Abscisa y ordenada a origen	-0.007157685 2.1945																			
Coefficientes	a=8.2413	-b=-113.1393	c=305.7833																	
Ecuación σ=	8.2413d ³ -113.1393d ² +305.7833d+2.1945																			
Módulo elasticidad (secante)	263000 Kg/cm ²																			
Coefficiente por v'f'c	17447 vKg/cm																			
Observaciones:																				

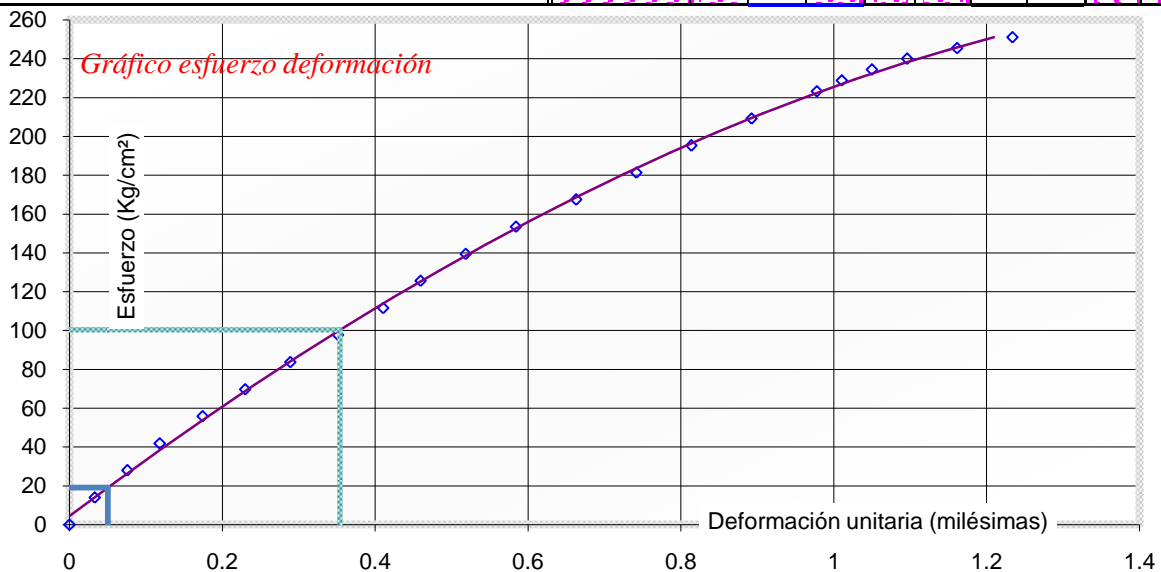


Agua/cemento	0.64	%material fino	5%	Edad	28 días	f'c=	227 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.22 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=28 días

Tabla 5.17 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=56 días


Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm							
Elaboración		Lunes 08, Enero		% finos		5%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm	
Ensayado		Lunes 05, Marzo		Edad (días)		56		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas	
Identificación	13G	2G		Id				13G				2G			
Altura (cm)	30.38 30.40 30.27 30.37	30.26 30.26 30.31 30.33		Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.35 15.18 15.24 15.21 15.25 15.28	15.18 15.25 15.32 15.29 15.14 15.13		0	31	0	.00				.00				.00
Peso (Kg)	12.38	12.13		25	36	13.9	.03								
Carga rot.(KN)	457.63	479.44		50	42.5	27.9	.08								
Tipo de falla	Corte Convexa	Cabezal conica		75	49	41.8	.12								
Gráfico de falla				100	57.5	55.8	.17								
				125	66	69.7	.23								
				150	75	83.7	.29								
				175	84.5	97.6	.35								
				200	93.5	112	.41								
				225	1	126	.46								
				250	10	139	.52								
				275	20	153	.58								
				300	32	167	.66								
				325	44	181	.74								
				350	55	195	.81								
				375	67	209	.89								
				400	80	223	.98								
				410	85	229	1.01								
				420	91	234	1.05								
Observaciones				430	98	240	1.10								
				440	108	246	1.16								
				450	19	251	1.23								
Díametro (cm)	15.25	15.22													
Sección(cm ²)	182.69	181.90													
Altura (cm)	30.36	30.29													
Volumen(cm ³)	5545.68	5509.64													
Peso unitario	2.232 Kg/litro	2.202 Kg/litro													
P.U.promedio	2.217 Kg/litro ±0.69%														
Esfuerzo rotura	255.3 Kg/cm ²	268.7 Kg/cm ²													
Resistencia promedio	262.0 Kg/cm ² ±2.55%														
f'c	250.7 Kg/cm ² Alfa=1.2														
Abscisa y ordenada a origen	-0.014513374 4.3186														
Coefficientes	-a=5.6457	-b=69.675	c=296.55												
Ecuación $\sigma =$	$-5.6457d^3 - 69.675d^2 + 296.55d + 4.3186$														
Módulo elasticidad (secante)	267000 Kg/cm ²														
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	16863 $\sqrt{Kg/cm}$														
Observaciones:															

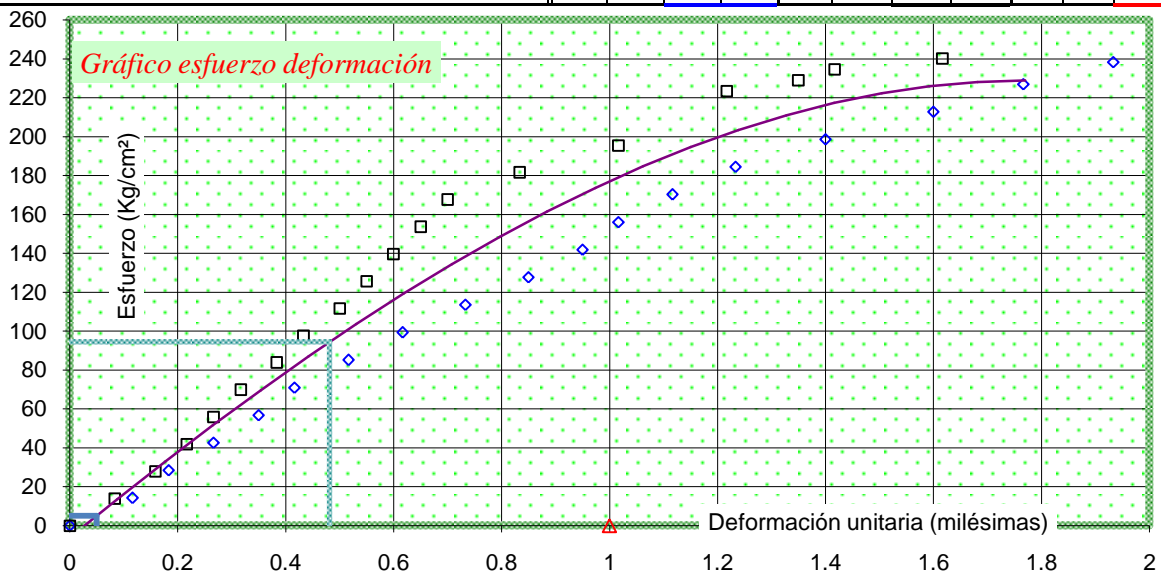


Agua/cemento	0.64	%material fino	5%	Edad	56 días	f'c=	251 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.23 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=5% a edad=56 días

Tabla 5.18 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm								
Elaboración		Mié 03, Enero		.51		KN		Unidad de deformación .001 mm								
Ensayado		Jue 11, Enero		5%		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²						
				Edad (días)		7				δ milésimas						
Identificación	1E	2E		Id	1E				2E							
Altura (cm)	30.53 30.55 30.43 30.50	30.48 30.43 30.55 30.35			Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.26 15.04 15.06 15.18 15.11 15.10	15.33 15.25 15.19 15.22 15.29 15.18			0	0	0	.00	0	0	0	.00				.00
Peso (Kg)	12.17	12.23			25	93	14.2	.12	25	95	14	.08				
Carga rot.(KN)	469.12	436.35			50	89	28.4	.18	50	90.5	27.9	.16				
Tipo de falla	Corte	Cabezal conica			75	84	42.6	.27	75	87	41.9	.22				
Gráfico de falla					100	79	56.7	.35	100	84	55.9	.27				
					125	75	70.9	.42	125	81	69.8	.32				
					150	69	85.1	.52	150	77	83.8	.38				
					175	63	99.3	.62	175	74	97.8	.43				
					200	56	113	.73	200	70	112	.50				
					225	49	128	.85	225	67	126	.55				
					250	43	142	.95	250	64	140	.60				
					275	39	156	1.02	275	61	154	.65				
					300	33	170	1.12	300	58	168	.70				
					325	26	184	1.23	325	50	182	.83				
					350	16	199	1.40	350	39	196	1.02				
					375	4	213	1.60	400	27	223	1.22				
		400	94	227	1.77	410	19	229	1.35							
		420	84	238	1.93	420	15	235	1.42							
		440	78	250	2.03	430	3	240	1.62							
		450	71	255	2.15											
Observaciones																
Díametro (cm)	15.13	15.24														
Sección(cm ²)	179.67	182.49														
Altura (cm)	30.50	30.45														
Volumen(cm ³)	5480.45	5557.41														
Peso unitario	2.221 Kg/litro	2.201 Kg/litro														
P.U.promedio	2.211 Kg/litro ±0.45%															
Esfuerzo rotura	266.2 Kg/cm ²	243.7 Kg/cm ²														
Resistencia promedio	254.9 Kg/cm ² ±4.40%															
f'c	235.9 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	0.027359949 -6.1735															
Coefficientes	-a=12.5628	-b=30.722	c=226.49													
Ecuación $\sigma =$	-12.5628d ³ -30.722d ² +226.49d-6.1735															
Módulo elasticidad (secante)	206000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	13412 $\sqrt{Kg/cm}$															
Observaciones:																

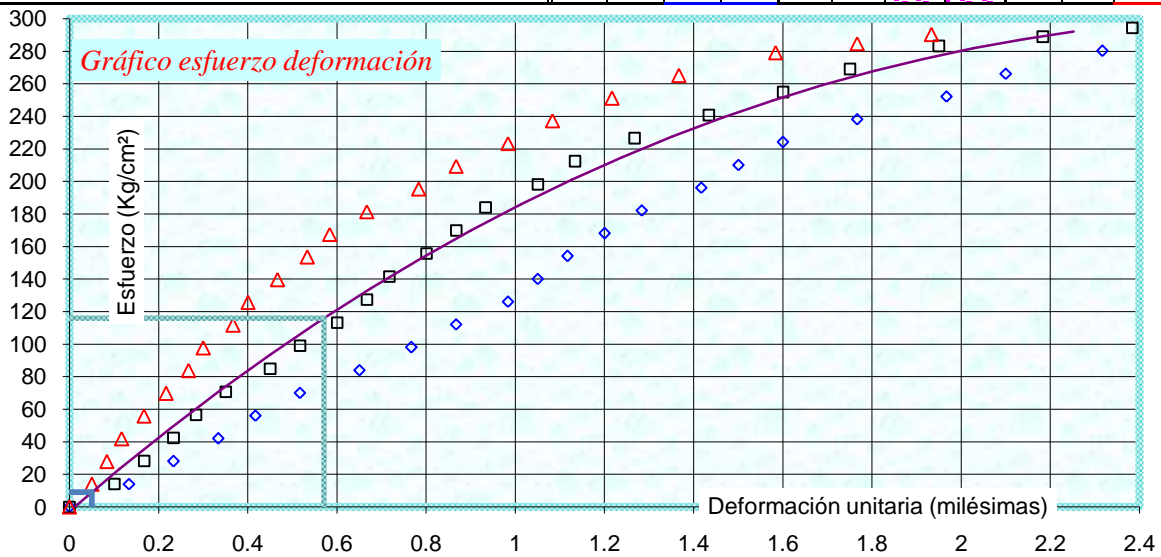


Agua/cemento	0.51	%material fino	5%	Edad	7 días	f'c=	236 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	--------	------	------------------------

Gráfico 5.24 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=7 días

Tabla 5.19 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		15.2 cm								
Elaboración		Mié 03, Enero		5%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm				
Ensayado		Mié 17, Enero		14		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas				
Identificación	3E	4E	6E	Id	3E				4E				6E			
Altura (cm)	30.43 30.38 30.43 30.45	30.44 30.54 30.35 30.39	30.53 30.45 30.57 30.40		Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.31 15.24 15.19 15.28 15.13 15.16	15.29 15.32 14.95 15.02 15.02 15.23	15.32 15.19 15.20 15.31 15.16 15.31	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 510 520	0 92 86 80 75 69 61 54 48 41 37 33 28 23 15 10 4 94 82 74 61 51 38	0 14 28 42 56 70.1 84.1 98.1 112 126 140 154 168 182 196 210 224 238 252 266 280 286 291	.00 .13 .23 .33 .42 .52 .65 .77 .87 .98 1.05 1.12 1.20 1.28 1.42 1.50 1.60 1.77 1.97 2.10 2.32 2.48 2.70	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 510 520	0 94 90 86 83 79 73 69 64 60 57 52 48 44 37 32 24 14 4 95 83 69 57	0 14.2 28.3 42.5 56.6 70.8 85 99.1 113 127 142 156 170 184 198 212 227 241 255 269 283 289 295	.00 .10 .17 .23 .28 .35 .45 .52 .60 .67 .72 .80 .87 .93 1.05 1.13 1.27 1.43 1.60 1.75 1.95 2.18 2.38	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 510 520	56 53 51 49 46 43 40 38 34 32 28 24 21 16 9 4 91 83 74 61 50 40	0 14 27.9 41.9 55.8 69.8 83.7 97.7 112 126 140 154 167 181 195 209 223 237 251 265 279 285 290	.00 .05 .08 .12 .17 .22 .27 .30 .37 .40 .47 .53 .58 .67 .78 .87 .98 1.08 1.22 1.37 1.58 1.77 1.93	
Peso (Kg)	12.19	12.2	12.22													
Carga rot.(KN)	522.44	529.51	523.65													
Tipo de falla	Corte descascara	Corte diagonal inferior	Corte descascara													
Gráfico de falla																
Observaciones																
Díametro (cm)	15.22	15.14	15.25													
Sección(cm ²)	181.90	179.99	182.61													
Altura (cm)	30.42	30.43	30.49													
Volumen(cm ³)	5533.74	5477.07	5567.45													
Peso unitario	2.203 Kg/litro	2.227 Kg/litro	2.195 Kg/litro													
P.U.promedio	2.208 Kg/litro ±0.74%															
Esfuerzo rotura	292.8 Kg/cm ²	299.9 Kg/cm ²	292.3 Kg/cm ²													
Resistencia promedio	295.0 Kg/cm ² ±1.29%															
f'c	289.9 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	0.011635239 -2.7564															
Coefficientes	a=2.6143	b=53.2287	c=237.52													
Ecuación $\sigma =$	2.6143d ³ -53.2287d ² +237.52d-2.7564															
Módulo elasticidad (secante)	205000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	12040 $\sqrt{Kg/cm}$															
Observaciones:																

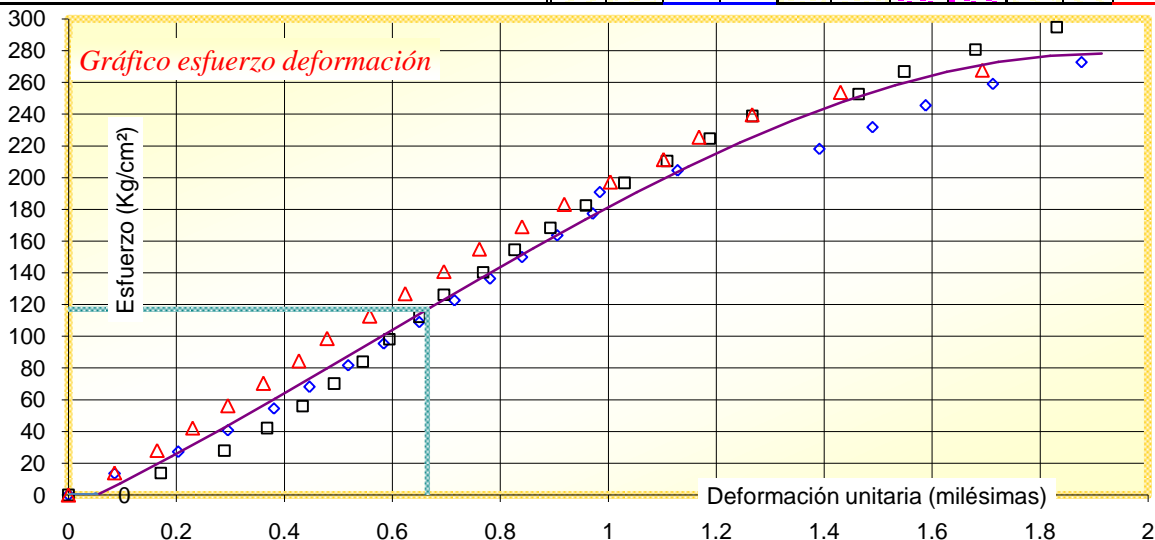


Agua/cemento	0.51	%material fino	5%	Edad	14 días	f'c=	290 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.25 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=14 días

Tabla 5.20 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C		.51		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm									
Elaboración		Mié 03, Enero		% finos		5%		Unidades de carga		KN									
Ensayado		Mié 31, Enero		Edad (días)		28		Peso Kg		Dimensión cm		Unidad de deformación		.001 mm					
				σ Kg/cm ²		δ milésimas													
Identificación	5E	10E	11E	Id				5E				10E				11E			
Altura (cm)	30.92 31.09 31.09 30.82	30.43 30.32 30.20 30.14	30.61 30.49 30.58 30.52	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas				
Díametro (cm)	15.49 15.38 15.33 15.55 15.42 15.39	15.38 15.07 15.18 15.22 15.19 15.16	15.33 15.04 15.12 15.27 15.21 15.07	0 25 50 75 100 125	48 61 79 93 6 16	0 13.6 27.3 40.9 54.5 68.2	.00 .09 .20 .30 .38 .45	0 25 50 75 100 125	24 50 68 80 90 99	0 14 28.1 42.1 56.2 70.2	.00 .17 .29 .37 .43 .49	0 25 50 75 100 125	62 75 87 97 7 17	0 14.1 28.2 42.3 56.4 70.5	.00 .09 .16 .23 .30 .36				
Peso (Kg)	12.79	12.08	12.18	150	27	81.8	.52	150	7	84.3	.54	150	27	84.6	.43				
Carga rot.(KN)	538	580	583	175	37	95.4	.58	175	14.5	98.3	.59	175	35	98.7	.48				
Tipo de falla	Cabezal	Cabezal	Cabezal	200	47	109	.65	200	23	112	.65	200	47	113	.56				
Gráfico de falla				225	57	123	.72	225	30	126	.70	225	57	127	.62				
				250	67	136	.78	250	41	140	.77	250	68	141	.70				
				275	76	150	.84	275	50	154	.83	275	78	155	.76				
				300	86	164	.91	300	60	169	.89	300	90	169	.84				
				325	96	177	.97	325	70	183	.96	325	2	183	.92				
				350	98	191	.98	350	81	197	1.03	350	15	197	1.00				
				375	20	205	1.13	375	93	211	1.11	375	30	211	1.10				
				400	60	218	1.39	400	5	225	1.19	400	40	225	1.17				
				425	75	232	1.49	425	17	239	1.27	425	55	240	1.27				
				450	90	245	1.59	450	47	253	1.46	450	80	254	1.43				
				475	9	259	1.71	475	60	267	1.55	475	20	268	1.69				
				500	34	273	1.88	500	80	281	1.68								
				525	71	286	2.12	525	3	295	1.83								
				Observaciones				550	35	309	2.04								
				Díametro (cm)	15.43	15.20	15.17												
Sección(cm ²)	186.91	181.46	180.82																
Altura (cm)	30.98	30.27	30.55																
Volumen(cm ³)	5790.49	5493.20	5524.12																
Peso unitario	2.209 Kg/litro	2.199 Kg/litro	2.205 Kg/litro																
P.U.promedio	2.204 Kg/litro		±0.22%																
Esfuerzo rotura	293.4 Kg/cm ²	325.8 Kg/cm ²	328.7 Kg/cm ²																
Resistencia promedio	316.0 Kg/cm ²		±5.58%																
f'c	292.5 Kg/cm ²		Alfa=1.2																
Abscisa y ordenada a origen	0.052909309		-8.7569																
Coefficientes	-a=37.6033	b=65.5783	c=162.1433																
Ecuación σ=	-37.6033d ³ +65.5783d ² +162.1433d-8.7569																		
Módulo elasticidad (secante)	191000 Kg/cm ²																		
Coefficiente por √f'c	11169 √Kg/cm																		
Observaciones:	Se usó deformímetro en unidades métricas																		

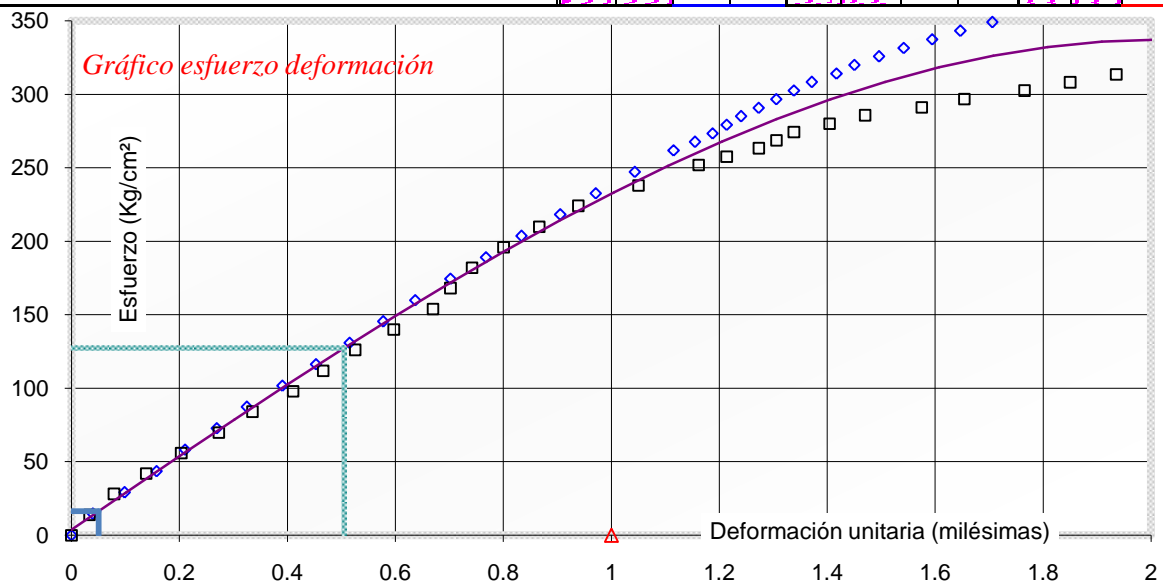


Agua/cemento	0.51	%material fino	5%	Edad	28 días	f'c=	292 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.26 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=28 días

Tabla 5.21 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=56 días

Compresión de cilindros Elaboración Mié 03, Enero Ensayado Mié 28, Febrero			A/C	Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro					
			.51	KN		15.2 cm					
			% finos	Unidades de carga		Unidad de deformación					
			5%	KN		.001 mm					
			Edad (días)	Peso Kg	Dimensión cm	σ Kg/cm ²	δ milésimas				
			56								
Identificación	14E	15E	Id	14E				15E			
	Altura (cm)	30.00 30.11 29.86 30.00		30.26 30.34 30.05 30.22	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²
Diámetro (cm)	14.92	15.04	0	86	0	.00	0	11	0	.00	
	14.94	15.28	25	92	14.5	.04	25	16	14	.03	
	14.91	15.36	50	1	29.1	.10	50	23	28	.08	
	14.98	15.37	75	10	43.6	.16	75	32	42	.14	
	14.94	15.15	100	18	58.2	.21	100	42	56	.20	
	14.94	15.14	125	27	72.7	.27	125	52.5	70	.27	
Peso (Kg)	11.65	12.09	150	35.5	87.2	.32	150	62	84	.33	
Carga rot.(KN)	622.51	588.7	175	45.5	102	.39	175	73.5	98	.41	
Tipo de falla	Corte Convexa explosiva.	Corte convexa	200	55	116	.45	200	82	112	.47	
Gráfico de falla		225	64.5	131	.52	225	91	126	.52		
		250	74	145	.58	250	2	140	.60		
		275	83	160	.64	275	13	154	.67		
		300	93	174	.70	300	18	168	.70		
		325	3	189	.77	325	24	182	.74		
		350	13	204	.83	350	33	196	.80		
		375	24	218	.91	375	43	210	.87		
		400	34	233	.97	400	54	224	.94		
		425	45	247	1.04	425	71	238	1.05		
		450	56	262	1.12	450	88	252	1.16		
		460	62	268	1.15	460	96	258	1.21		
		470	67	273	1.19	470	5	263	1.27		
		480	71	279	1.21	480	10	269	1.31		
		490	75	285	1.24	490	15	274	1.34		
		500	80	291	1.27	500	25	280	1.40		
Diámetro (cm)	14.94	15.22	510	85	297	1.31	510	35	286	1.47	
Sección(cm ²)	175.26	182.02	520	90	302	1.34	520	51	291	1.57	
Altura (cm)	29.99	30.22	530	95	308	1.37	530	63	297	1.65	
Volumen(cm ³)	5256.62	5500.07	540	2	314	1.42	540	80	302	1.77	
Peso unitario	2.216 Kg/litro	2.198 Kg/litro	550	7	320	1.45	550	93	308	1.85	
P.U.promedio	2.207 Kg/litro ±0.41%		560	14	326	1.50	560	6	314	1.94	
Esfuerzo rotura	362.1 Kg/cm ²	329.7 Kg/cm ²	570	21	332	1.54					
Resistencia promedio	345.9 Kg/cm ² ±4.68%		580	29	337	1.59					
f'c	318.4 Kg/cm ² Alfa=1.2		590	37	343	1.65					
Abscisa y ordenada a origen	-0.0149 3.7409		600	46	349	1.71					
Coefficientes	-a=19.7525	-b=2.682	c=251.05	610	57	355	1.78				
Ecuación $\sigma =$	-19.7525d ³ -2.682d ² +251.05d+3.7409		620	73	361	1.88					
Módulo elasticidad (secante)	243000 Kg/cm ²										
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	13618 $\sqrt{Kg/cm}$										
Observaciones:											

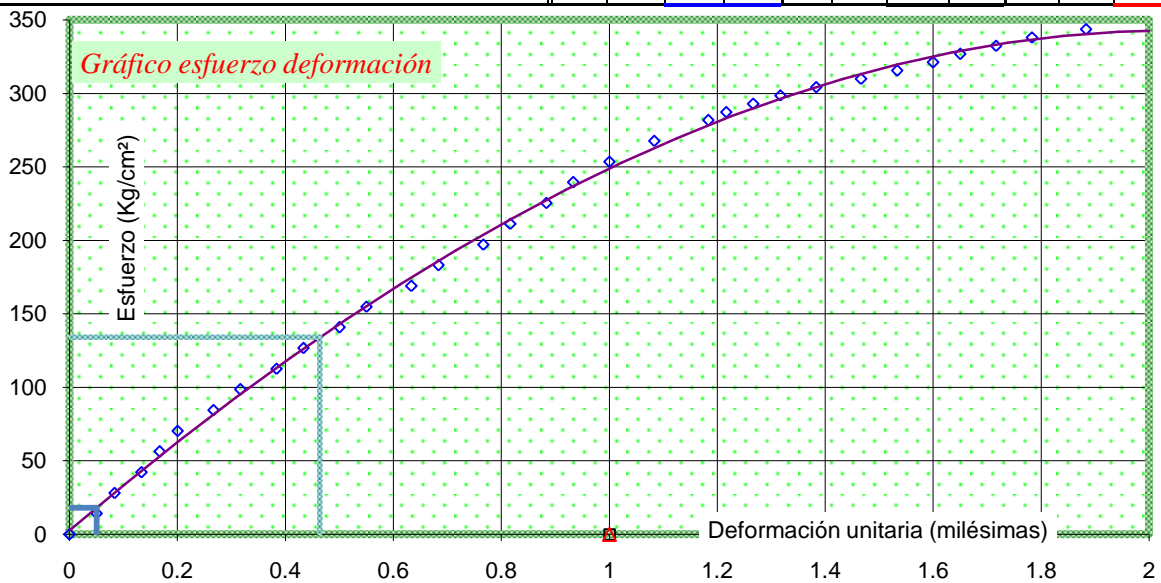


Agua/cemento	0.51	%material fino	5%	Edad	56 días	f'c=	318 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.27 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=5% a edad=56 días

Tabla 5.22 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm												
Elaboración		Mar 09, Ene		.38		Unidades de carga		Unidad de deformación .001 mm												
Ensayado		Mar 16, Ene		5%		KN														
				Edad (días)		7		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas						
Identificación	1NF	2NF	3NF	Id	1NF				2NF				3NF							
Altura (cm)	30.37	30.38	30.56		Carga KN	Def. 0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas				
	30.43	30.42	30.61	0	87	0	.00													
	30.24	30.39	30.82	25	84	14.1	.05													
	30.35	30.36	30.72	50	82	28.2	.08													
Diámetro (cm)	15.12	14.96	15.22	75	79	42.3	.13													
	15.12	14.96	15.22	100	77	56.3	.17													
	15.28	15.23	15.30	125	75	70.4	.20													
	15.26	15.11	15.19	150	71	84.5	.27													
	15.17	15.22	15.19	175	68	98.6	.32													
Peso (Kg)	12.25	12.26	12.37	200	64	113	.38													
Carga rot.(KN)	636.09	620.16	598.84	225	61	127	.43													
Tipo de falla	No se hizo fallar	Explosiva	Cabecal	250	57	141	.50													
Gráfico de falla				275	54	155	.55													
				300	49	169	.63													
				325	46	183	.68													
				350	41	197	.77													
				375	38	211	.82													
				400	34	225	.88													
				425	31	239	.93													
				450	27	254	1.00													
				475	22	268	1.08													
				500	16	282	1.18													
				510	14	287	1.22													
				520	11	293	1.27													
				530	8	299	1.32													
				540	4	304	1.38													
				550	99	310	1.47													
560	95	315	1.53																	
570	91	321	1.60																	
580	88	327	1.65																	
590	84	332	1.72																	
600	80	338	1.78																	
610	74	344	1.88																	
Observaciones																				
Diámetro (cm)	15.18	15.17	15.20	540	4	304	1.38													
Sección(cm ²)	180.94	180.62	181.42	550	99	310	1.47													
Altura (cm)	30.35	30.39	30.68	560	95	315	1.53													
Volumen(cm ³)	5491.12	5488.70	5565.47	570	91	321	1.60													
Peso unitario P.U.promedio	2.231 Kg/litro	2.234 Kg/litro	2.223 Kg/litro	580	88	327	1.65													
		2.229 Kg/litro	±0.25%	590	84	332	1.72													
Esfuerzo rotura	358.4 Kg/cm ²	350.0 Kg/cm ²	336.5 Kg/cm ²	600	80	338	1.78													
Resistencia promedio		348.3 Kg/cm ²	±3.14%	610	74	344	1.88													
f'c		335.0 Kg/cm ²	Alfa=1.2																	
Abscisa y ordenada a origen		-0.008370056	2.6268																	
Coefficientes	-a=4.5498	-b=62.528	c=313.31																	
Ecuación $\sigma =$	-4.5498d ³ -62.528d ² +313.31d+2.6268																			
Módulo elasticidad (secante)	280000 Kg/cm ²																			
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	15297 $\sqrt{Kg/cm}$																			
Observaciones:																				

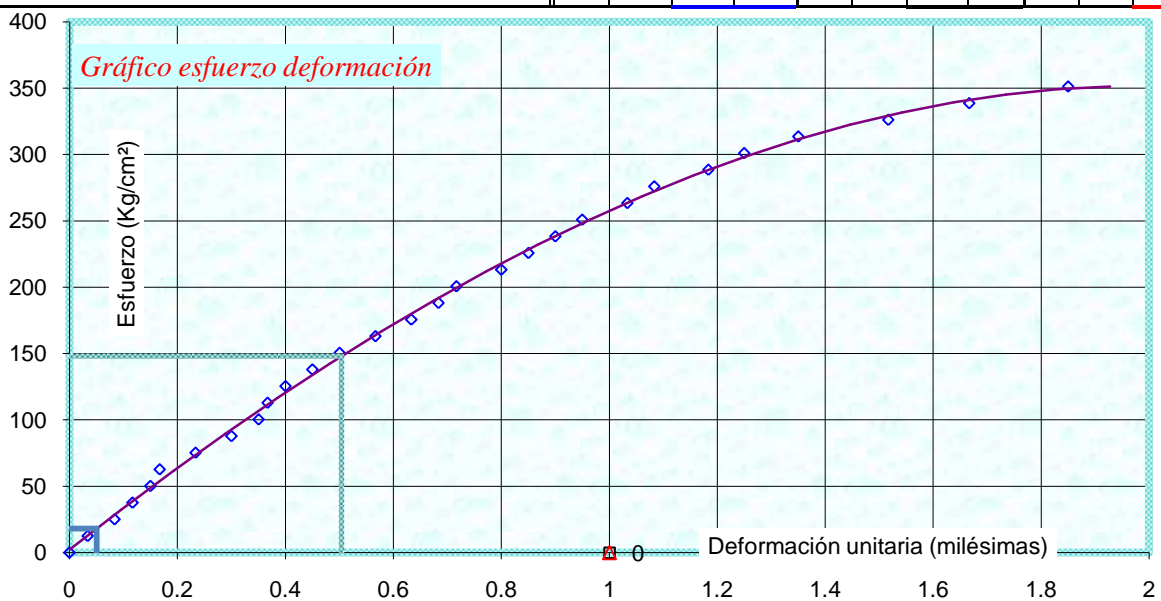


Agua/cemento	0.38	%material fino	5%	Edad	7 días	f'c=	335 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	--------	------	------------------------

Gráfico 5.28 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=7 días

Tabla 5.23 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=14 días


Compresión de cilindros				Unidades de trabajo				Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm									
Elaboración Mar 09, Ene		A/C 0.38		Unidades de carga Kip		Unidad de deformación .001 mm											
Ensayado Mar 23, Ene		Edad (días) 14		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas							
Identificación	4NF	5NF	6NF	Id	4NF			5NF			6NF						
Altura (cm)	30.33 30.25 30.39 30.35	30.52 30.63 30.52 30.39	30.58 30.49 30.48 30.43	Carga Kip	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga Kip	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga Kip	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas		
Díametro (cm)	15.29 15.02 15.23 15.02 15.50 14.97	15.38 15.08 15.21 15.16 15.12 15.21	15.22 15.24 15.20 15.30 15.18 15.32	0	15	0	.00				.00				.00		
Peso (Kg)	12.19	12.34	12.32	5	13	12.5	.03										
Carga rot.(Kip)	149.5	167.5	159	10	10	25.1	.08										
Tipo de falla	Explosiva	Conica explosiva	Cónica explosiva	15	8	37.6	.12										
Gráfico de falla				20	6	50.2	.15										
				25	5	62.7	.17										
				30	1	75.3	.23										
				35	97	87.8	.30										
				40	94	100	.35										
				45	93	113	.37										
				50	91	125	.40										
				55	88	138	.45										
				60	85	151	.50										
				65	81	163	.57										
70	77	176	.63														
75	74	188	.68														
80	72	201	.72														
85	67	213	.80														
90	64	226	.85														
95	61	238	.90														
100	58	251	.95														
Observaciones	Exploto	Exploto desintegrándose	Muchos poros antes de ensayo	105	53	263	1.03										
Díametro (cm)	15.17	15.19	15.24	110	50	276	1.08										
Sección(cm ²)	180.78	181.30	182.49	115	44	289	1.18										
Altura (cm)	30.33	30.52	30.50	120	40	301	1.25										
Volumen(cm ³)	5483.13	5532.35	5565.17	125	34	314	1.35										
Peso unitario	2.223 Kg/litro	2.231 Kg/litro	2.214 Kg/litro	130	24	326	1.52										
P.U.promedio	2.222 Kg/litro ±0.38%			135	15	339	1.67										
Esfuerzo rotura	375.1 Kg/cm ²	419.1 Kg/cm ²	395.2 Kg/cm ²	140	4	351	1.85										
Resistencia promedio	396.5 Kg/cm ² ±5.54%																
f'c	370.0 Kg/cm ² Alfa=1.2																
Abscisa y ordenada a origen	-0.006517867 2.0887																
Coefficientes	-a=8.1089	-b=56.452	c=320.09														
Ecuación $\sigma =$	$-8.1089d^3 - 56.452d^2 + 320.09d + 2.0887$																
Módulo elasticidad (secante)	286000 Kg/cm ²																
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	14868 $\sqrt{Kg/cm}$																
Observaciones:																	

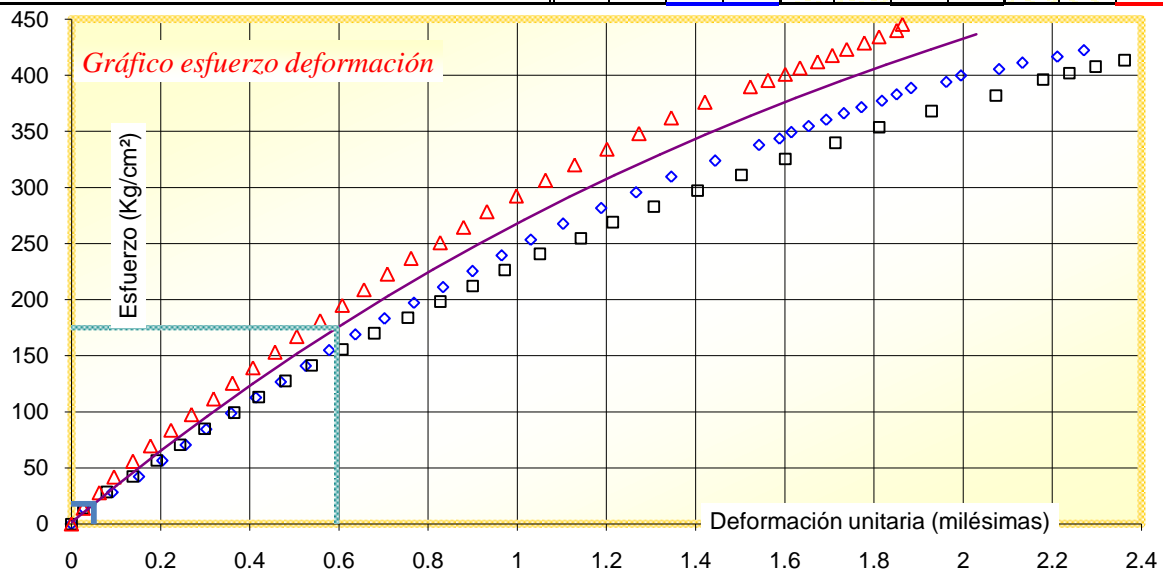


Agua/cemento	0.38	%material fino	5%	Edad	14 días	f'c=	370 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.29 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=14 días

Tabla 5.24 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro				15.2 cm				
Elaboración		Mar 09, Ene		% finos		5%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm		
Ensayado		Mar 06, Feb		Edad (días)		28		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas		
Identificación	7NF	8NF	11NF	Id	7NF				8NF				11NF			
Altura (cm)	30.63 30.46 30.62 30.49	30.75 30.61 30.82 30.69	30.59 30.38 30.59 30.46		Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.34 15.13 15.19 15.18 15.15 15.11	15.25 15.09 15.12 15.14 15.16 15.09	15.36 15.26 15.17 15.23 15.29 15.29	0	28	0	.00	0	91	0	.00	0	19	0	.00	
Peso (Kg)	12.31	12.27	12.39	150	74	84.4	.30	150	36.5	84.9	.30	150	53	83.5	.22	
Carga rot.(KN)	831	784	802	175	82.5	98.5	.36	175	46.5	99.1	.36	175	60	97.5	.27	
Tipo de falla	Intacto luego carga máxima	Corte diagonal explosiva	Cónica explosiva	200	91	113	.41	200	55	113	.42	200	67.5	111	.32	
Gráfico de falla				225	99.5	127	.47	225	64	127	.48	225	74	125	.36	
				250	8	141	.52	250	73	142	.54	250	81	139	.41	
				275	16	155	.58	275	83.5	156	.61	275	88.5	153	.46	
				300	25	169	.64	300	94.5	170	.68	300	96	167	.51	
				325	35	183	.70	325	6	184	.75	325	4	181	.56	
				350	45	197	.77	350	17	198	.83	350	11.5	195	.61	
				375	55	211	.83	375	28	212	.90	375	19	209	.66	
				400	65	225	.90	400	39	226	.97	400	27	223	.71	
				425	75	239	.96	425	51	241	1.05	425	35	237	.76	
				450	85	253	1.03	450	65	255	1.14	450	45	251	.83	
				475	96	267	1.10	475	76	269	1.21	475	53	265	.88	
				500	9	281	1.19	500	90	283	1.31	500	61	278	.93	
				525	21	296	1.27	525	5	297	1.40	525	71	292	1.00	
				550	33	310	1.35	550	20	311	1.50	550	81	306	1.06	
				575	48	324	1.44	575	35	326	1.60	575	91	320	1.13	
600	63	338	1.54	600	52	340	1.71	600	2	334	1.20					
610	70	343	1.59	625	67	354	1.81	625	13	348	1.27					
620	74	349	1.61	650	85	368	1.93	650	24	362	1.35					
630	80	355	1.65	675	7	382	2.07	675	35.5	376	1.42					
640	86	360	1.69	700	23	396	2.18	700	51	390	1.52					
650	92	366	1.73	710	32	402	2.24	710	57	395	1.56					
660	98	372	1.77	720	41	408	2.30	720	63	401	1.60					
670	5	377	1.82	730	51	413	2.36	730	68	407	1.63					
680	10	383	1.85	740	61	419	2.43	740	74	412	1.67					
690	15	388	1.88	750	71	425	2.49	750	79	418	1.71					
700	27	394	1.96	760	82	430	2.57	760	84	423	1.74					
710	32	400	1.99	770	94	436	2.64	770	90	429	1.78					
720	45	405	2.08	780	14	442	2.78	780	95	434	1.81					
730	53	411	2.13					790	1	440	1.85					
740	65	417	2.21					800	3	445	1.86					
750	74	422	2.27													

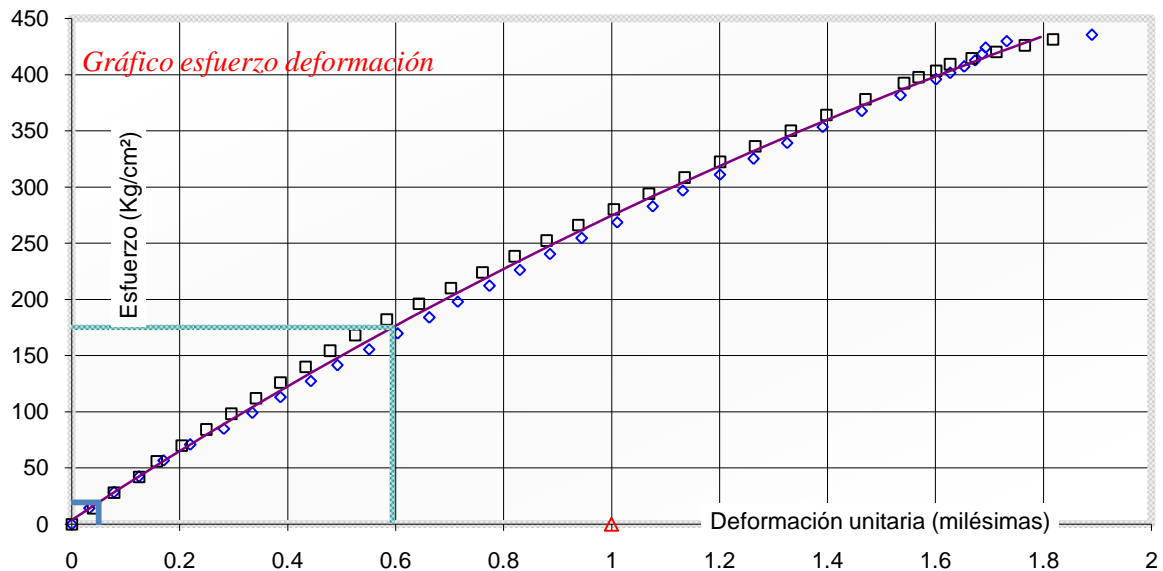


Agua/cemento	0.38	%material fino	5%	Edad	28 días	f'c=	437 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.30 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=28 días

Tabla 5.25 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=56 días


Compresión de cilindros			A/C	Unidades de trabajo				Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm						
Elaboración Mar 09, Ene			.38	Unidades de carga KN				Unidad de deformación .001 mm						
Ensayado Mar 06, Mar			5%	Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas				
Edad (días)			56											
Identificación	NF12	NF14	Id				NF12				NF14			
Altura (cm)	30.59	30.26	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
	30.60	30.26	0	81	0	.00	0	3	0	.00				
	30.62	30.31	25	86	14.1	.03	25	9	14	.04				
	30.65	30.33	50	93	28.3	.08	50	15	28	.08				
Diámetro (cm)	15.25	15.18	75	0	42.4	.12	75	22	42	.12				
	15.03	15.25	100	7	56.5	.17	100	27	56	.16				
	15.12	15.32	125	14.5	70.7	.22	125	34	70.1	.20				
	15.24	15.29	150	24	84.8	.28	150	41	84.1	.25				
	15.05	15.14	175	32	98.9	.33	175	48	98.1	.30				
	15.22	15.13	200	40	113	.39	200	55	112	.34				
Peso (Kg)	12.256	12.176	225	48.5	127	.44	225	62	126	.39				
Carga rot.(KN)	774.34	783.4	250	56	141	.49	250	69	140	.43				
Tipo de falla	Corte plana explosiva	Bicónica explosiva	275	65	155	.55	275	76	154	.48				
Gráfico de falla			300	73	170	.60	300	83	168	.52				
			325	82	184	.66	325	92	182	.58				
			350	90	198	.72	350	1	196	.64				
			375	99	212	.77	375	10	210	.70				
			400	7.5	226	.83	400	19	224	.76				
			425	16	240	.89	425	28	238	.82				
			450	25	254	.94	450	37	252	.88				
			475	35	269	1.01	475	46	266	.94				
			500	45	283	1.08	500	56	280	1.00				
			525	53.5	297	1.13	525	66	294	1.07				
Observaciones			550	64	311	1.20	550	76	308	1.14				
Diámetro (cm)	15.15	15.22	575	73.5	325	1.26	575	86	322	1.20				
	180.31	181.90	600	83	339	1.33	600	96	336	1.27				
	30.62	30.29	625	93	353	1.39	625	6	350	1.33				
	5520.07	5509.64	650	4	367	1.46	650	16	364	1.40				
Peso unitario	2.220 Kg/litro	2.210 Kg/litro	675	15	382	1.54	675	27	378	1.47				
P.U.promedio	2.215 Kg/litro ±0.23%		700	25	396	1.60	700	38	392	1.54				
Esfuerzo rotura	437.8 Kg/cm ²	439.0 Kg/cm ²	710	29	401	1.63	710	42	398	1.57				
Resistencia promedio	438.4 Kg/cm ² ±0.14%		720	33	407	1.65	720	47	403	1.60				
f'c	437.3 Kg/cm ² Alfa=1.2		730	36	413	1.67	730	51	409	1.63				
Abscisa y ordenada a origen	-0.011588475 3.6679		740	38	418	1.69	740	57	415	1.67				
Coefficientes	a=3.2711	-b=48.5215	c=315.95	750	39	424	1.69	750	64	420	1.71			
Ecuación $\sigma =$	3.2711d ³ -48.5215d ² +315.95d+3.6679		760	45	430	1.73	760	72	426	1.77				
Módulo elasticidad (secante)	285000 Kg/cm ²		770	69	435	1.89	770	80	432	1.82				
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	13628 $\sqrt{Kg/cm}$													
Observaciones:														

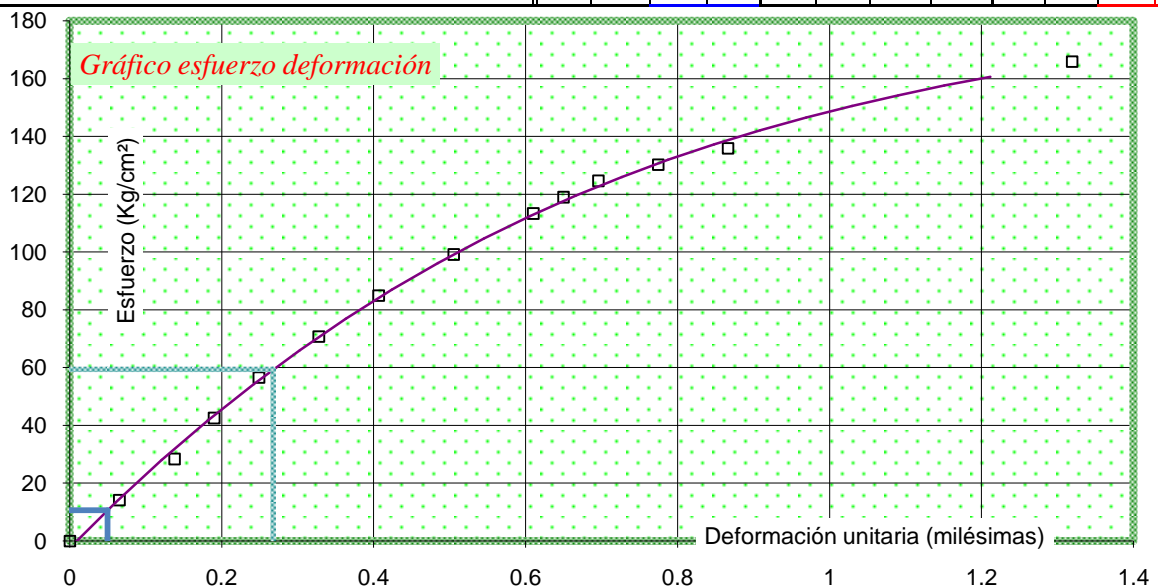


Agua/cemento	0.38	%material fino	5%	Edad	56 días	f'c=	437 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.31 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=5% a edad=56 días

Tabla 5.26 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=7 días


Compresión de cilindros				A/C .64		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm		
Elaboración		Via 26, Ene		10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm		
Ensayado		Lun 05, Feb		Edad (días) 7		Peso Kg		Dimensión cm		
						σ Kg/cm ²		δ milésimas		
Identificación	10H	11H	12H	Id	10H	11H	12H			
Altura (cm)	30.42	30.11	30.32	Carga KN						
	30.39	30.27	30.38	Def. 001mm						
	30.46	30.05	30.51	Esfuerzo Kg/cm ²						
	30.42	30.29	30.69	d milésimas						
Diámetro (cm)	15.27	15.29	15.32	Carga KN	0	46	0	.00		
	15.17	14.95	15.24	Def. 001mm	25	56	14.2	.07		
	15.22	15.32	15.08	Esfuerzo Kg/cm ²	50	67	28.3	.14		
	15.25	14.82	15.19	d milésimas	75	75	42.5	.19		
	15.17	14.97	15.44	Carga KN	100	84	56.6	.25		
	15.19	15.49	15.06	Def. 001mm	125	96	70.8	.33		
				Esfuerzo Kg/cm ²	150	8	84.9	.41		
Peso (Kg)	12.26	12.02	12.27	Def. 001mm	175	23	99.1	.51		
Carga rot.(KN)	274	293	335	Esfuerzo Kg/cm ²	200	39	113	.61		
Tipo de falla	Cabezal	Cabezal	Corte diagonal	d milésimas	210	45	119	.65		
Gráfico de falla				Carga KN	220	52	125	.70		
				Def. 001mm	230	64	130	.77		
				Esfuerzo Kg/cm ²	240	78	136	.87		
				d milésimas	293	47	166	1.32		
				Carga KN						
				Def. 001mm						
				Esfuerzo Kg/cm ²						
				d milésimas						
				Carga KN						
				Def. 001mm						
Observaciones				Esfuerzo Kg/cm ²						
Diámetro (cm)	15.21	15.14	15.22	d milésimas						
Sección(cm ²)	181.74	180.03	181.98	Carga KN						
Altura (cm)	30.42	30.18	30.48	Def. 001mm						
Volumen(cm ³)	5528.90	5433.26	5545.72	Esfuerzo Kg/cm ²						
Peso unitario	2.217 Kg/litro	2.212 Kg/litro	2.213Kg/litro	d milésimas						
Peso unit. prom.	2.214 Kg/litro		±0.12%	Carga KN						
Esfuerzo rotura	153.7 Kg/cm ²	165.9 Kg/cm ²	187.7Kg/cm ²	Def. 001mm						
Resistencia promedio	169.1 Kg/cm ²		±10.04%	Esfuerzo Kg/cm ²						
f'c	148.4 Kg/cm ²		Alfa=1.2	d milésimas						
Abscisa y ordenada a origen	0.009030338		-2.4118	Carga KN						
Coefficientes	a=32.665	b=150.07	c=268.43	Def. 001mm						
Ecuación $\sigma =$	32.665d ³ -150.07d ² +268.43d-2.4118			Esfuerzo Kg/cm ²						
Módulo elasticidad (secante)	223000 Kg/cm ²			d milésimas						
Coefficiente por v ² /c ³	18304 $\sqrt{\text{Kg/cm}}$			Carga KN						
Observaciones:				Def. 001mm						

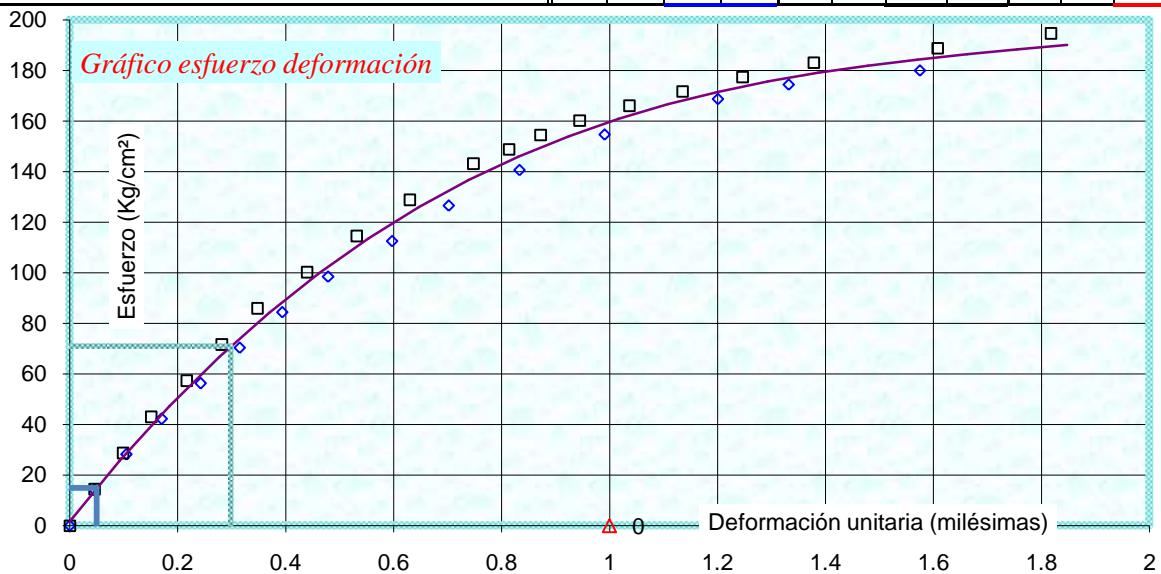


Agua/cemento	0.64	%finos	10%	Edad	7 días	f'c=	148 Kg/cm ²
--------------	------	--------	-----	------	--------	------	------------------------

Gráfico 5.32 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=7 días

Tabla 5.27 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=14 días


Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm								
Elaboración Vie 26, Ene				.64		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm								
Ensayado Lun 12, Feb				10%		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas				
Edad (días) 14																
Identificación	7H	8H		Id	7H				8H							
Altura (cm)	30.38 30.46 30.30 30.46	30.14 29.98 30.10 29.99			Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.32 15.12 15.07 15.16 15.29 15.18	14.45 15.20 15.03 15.22 15.18 15.27		0	98	0	.00		0	66	0	.00				.00
Peso (Kg)	12.12	11.99		25	5	14.1	.05		25	73	14.3	.05				
Carga rot.(KN)	321	332		50	14	28.1	.10		50	81	28.6	.10				
Tipo de falla	cabezal	no visible		75	24	42.2	.17		75	89	42.9	.15				
Gráfico de falla 				100	35	56.3	.24		100	99	57.2	.22				
				125	46	70.3	.31		125	9	71.5	.28				
				150	58	84.4	.39		150	19	85.9	.35				
				175	71	98.4	.48		175	33	100	.44				
				200	89	113	.60		200	47	114	.53				
				225	5	127	.70		225	62	129	.63				
				250	25	141	.83		250	80	143	.75				
				275	49	155	.99		260	90	149	.81				
				300	81	169	1.20		270	99	155	.87				
				310	1	174	1.33		280	10	160	.94				
				320	38	180	1.57		290	24	166	1.04				
				330	14	186	2.07		300	39	172	1.14				
									310	56	177	1.25				
									320	76	183	1.38				
									330	11	189	1.61				
								340	43	195	1.82					
Observaciones																
Díametro (cm)	15.19	15.06														
Sección(cm ²)	181.22	178.09														
Altura (cm)	30.40	30.05														
Volumen(cm ³)	5509.08	5352.10														
Peso unitario	2.200 Kg/litro	2.240 Kg/litro														
P.U.promedio	2.220 Kg/litro ±0.91%															
Esfuerzo rotura	180.6 Kg/cm ²	190.0 Kg/cm ²														
Resistencia promedio	185.3 Kg/cm ² ±2.55%															
f'c	177.3 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	-0.006020097 1.6368															
Coefficientes	a=25.407	-b=138.435	c=271.055													
Ecuación $\sigma =$	25.407d ³ -138.435d ² +271.055d+1.6368															
Módulo elasticidad (secante)	225000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	16899 $\sqrt{Kg/cm}$															
Observaciones:																

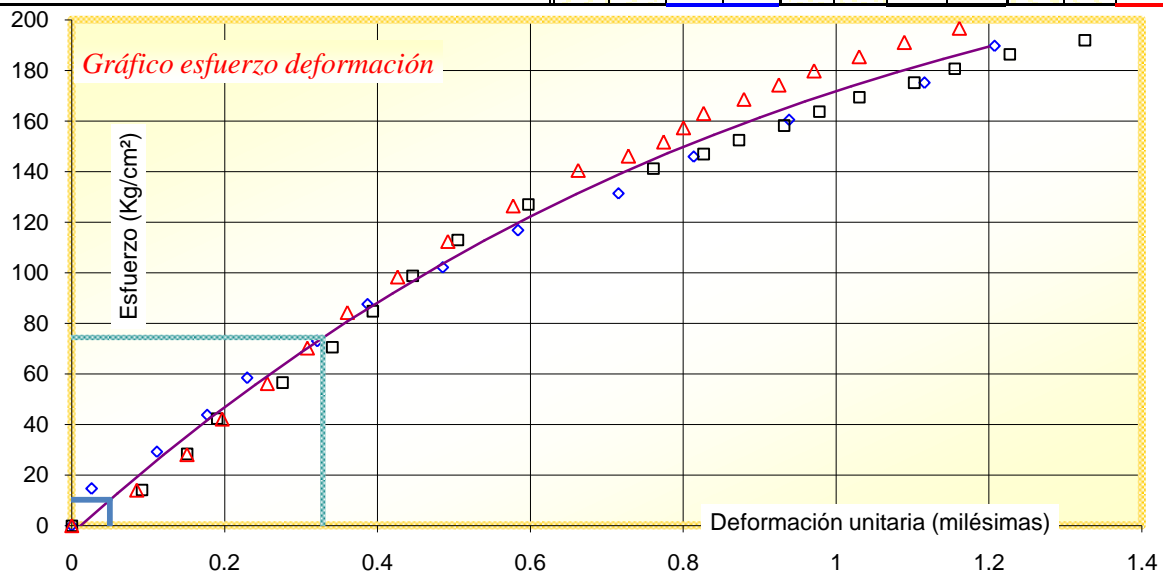


Agua/cemento	0.64	%material fino	10%	Edad	14 días	f'c=	177 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.33 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=14 días

Tabla 5.28 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro																			
Elaboración		Vie 26, Ene		.64		KN		15.2 cm																			
Ensayado		Vie 23, Feb		10%		Unidades de carga		Unidad de deformación																			
				Edad (días)		Kg		cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas															
				28		Peso		Dimensión		σ		δ															
Identificación	3H	4H	6H	Id	3H				4H				6H														
Altura (cm)	29.67	29.97	30.20	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas												
	29.84	29.88	30.42													0	93	0	0	34							
	29.85	30.05	30.18													25	7	14.1	.09	25	47	14.1	.09				
	29.92	30.10	30.44													50	23	29.2	.11	50	16	28.2	.15	50	57	28.1	.15
																75	33	43.8	.18	75	22	42.4	.19	75	64	42.2	.20
Diámetro (cm)	14.92	14.90	15.23	100	41	58.4	.23	100	35	56.5	.28	100	73	56.2	.26												
	14.92	15.36	15.14	125	55	73	.32	125	45	70.6	.34	125	81	70.3	.31												
	14.89	15.28	15.22	150	65	87.6	.39	150	53	84.7	.39	150	89	84.3	.36												
	14.91	15.01	15.22	175	80	102	.49	175	61	98.8	.45	175	99	98.4	.43												
	14.92	15.26	15.19	200	95	117	.58	200	70	113	.51	200	9	112	.49												
Peso (Kg)	11.52	12.01	12.18	225	15	131	.72	225	84	127	.60	225	22	126	.58												
Carga rot.(KN)	319	343	349	250	30	146	.81	250	9	141	.76	250	35	141	.66												
Tipo de falla	Cabezal superior	Cabezal superior	Cabezal superior	275	49	161	.94	260	19	147	.83	260	45	146	.73												
				300	76	175	1.12	270	26	153	.87	270	52	152	.77												
Gráfico de falla				325	90	190	1.21	280	35	158	.93	280	56	157	.80												
							290	42	164	.98	290	60	163	.83	290	60	163	.83									
							300	50	169	1.03	300	68	169	.88	300	68	169	.88									
							310	61	175	1.10	310	75	174	.93	310	75	174	.93									
							320	69	181	1.15	320	82	180	.97	320	82	180	.97									
							330	80	186	1.23	330	91	185	1.03	330	91	185	1.03									
							340	95	192	1.33	340	0	191	1.09	340	0	191	1.09									
							350	22	198	1.50	350	11	197	1.16	350	11	197	1.16									
				Observaciones																							
Diámetro (cm)	14.91	15.16	15.20																								
Sección (cm ²)	174.64	180.46	181.38																								
Altura (cm)	29.82	30.00	30.31																								
Volumen (cm ³)	5207.75	5413.95	5497.59																								
Peso unitario	2.212 Kg/litro	2.218 Kg/litro	2.216 Kg/litro																								
P.U.promedio	2.215 Kg/litro ±0.14%																										
Esfuerzo rotura	186.2 Kg/cm ²	193.7 Kg/cm ²	196.1 Kg/cm ²																								
Resistencia promedio	192.0 Kg/cm ² ±2.59%																										
f'c	185.8 Kg/cm ² Alfa=1.2																										
Abscisa y ordenada a origen	0.011527948 -3.1212																										
Coefficientes	a=20.705	-b=117.8653	c=272.1067																								
Ecuación σ=	20.705d ³ -117.8653d ² +272.1067d-3.1212																										
Módulo elasticidad (secante)	230000 Kg/cm ²																										
Coefficiente por v'c	16873 vKg/cm																										
Observaciones:																											

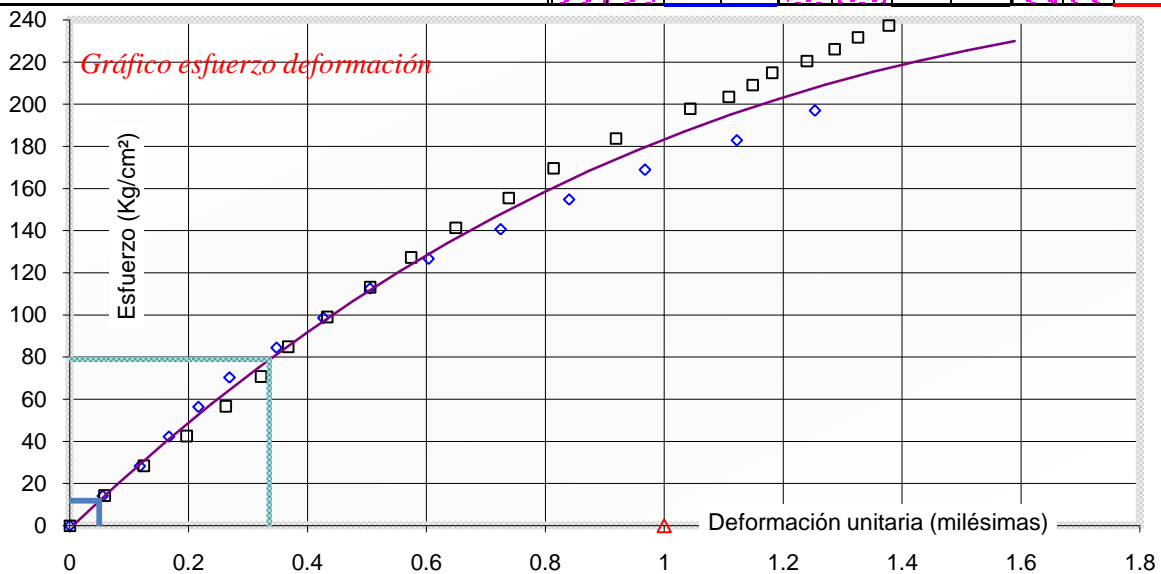


Agua/cemento	0.64	%material fino	10%	Edad	28 días	f'c=	186 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.34 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=28 días

Tabla 5.29 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=56 días


Compresión de cilindros				A/C .64		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm								
Elaboración		Vie 26, Ene		% finos 10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm								
Ensayado		Vie 23, Mar		Edad (días) 56		Peso Kg	Dimensión cm	σ Kg/cm²	δ milésimas							
Identificación	1H	9H		Id	1H				9H							
Altura (cm)	30.09 30.14 30.08 30.11	30.52 30.50 30.60 30.36			Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.00 15.27 15.32 15.24 15.16 15.14	15.22 15.13 15.10 15.21 15.13 15.12			0 25 50 75 100 125 150 175	35 43.5 53 60.5 68 76 88 0	0 14.1 28.1 42.2 56.3 70.3 84.4 98.5	.00 .06 .12 .17 .22 .27 .35 .43	0 25 50 75 100 125 150 175	51 60 70 81 91 0 7 17	0 14.1 28.3 42.4 56.5 70.7 84.8 98.9	.00 .06 .12 .20 .26 .32 .37 .43				.00
Peso (Kg)	12.08	12.11			200	12	113	.51	200	28	113	.51				
Carga rot.(KN)	375.4	445.94			225	27	127	.60	225	38.5	127	.57				
Tipo de falla					250	45.5	141	.73	250	50	141	.65				
Gráfico de falla					275	63	155	.84	275	63.5	155	.74				
					300	82.5	169	.97	300	75	170	.81				
					325	6	183	1.12	325	91	184	.92				
					350	26	197	1.25	350	10	198	1.04				
					375	16	211	1.84	360	20	204	1.11				
									370	26	209	1.15				
									380	31	215	1.18				
									390	40	220	1.24				
									400	47	226	1.29				
									410	53	232	1.33				
Observaciones					420	61	237	1.38								
					430	71	243	1.44								
					440	82	249	1.52								
Díametro (cm)	15.19	15.15														
Sección(cm ²)	181.18	180.31														
Altura (cm)	30.11	30.50														
Volumen(cm ³)	5454.42	5498.44														
Peso unitario	2.215 Kg/litro	2.202 Kg/litro														
P.U.promedio	2.209 Kg/litro ±0.28%															
Esfuerzo rotura	211.2 Kg/cm ²	252.1 Kg/cm ²														
Resistencia promedio	231.7 Kg/cm ² ±8.83%															
f'c	197.0 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	0.005580832 -1.5063															
Coefficientes	a=11.9407	-b=97.5445	c=270.45													
Ecuación $\sigma =$	11.9407d ³ -97.5445d ² +270.45d-1.5063															
Módulo elasticidad (secante)	234000 Kg/cm ²															
Coefficiente por v'c	16674 vKg/cm															
Observaciones:																

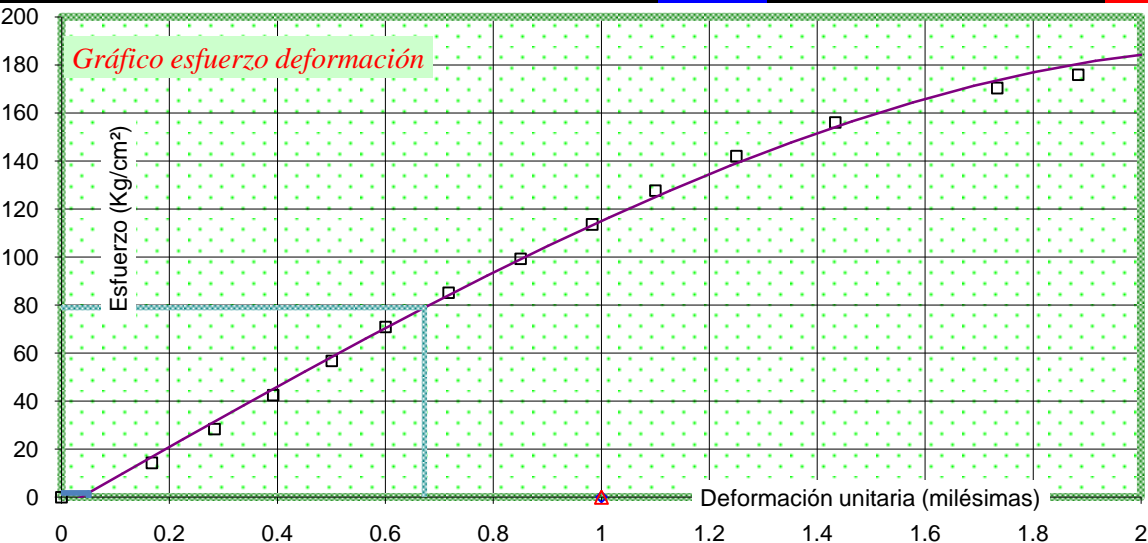


Agua/cemento	0.64	%material fino	10%	Edad	56 días	f'c=	197 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.35 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=10% a edad=56 días

Tabla 5.30 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm										
Elaboración		Mar 02, Ene		.51		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm										
Ensayado		Mar 09, Ene		10%		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²		δ milésimas						
				Edad (días)		7												
Identificación	13D	14D		Id				13D				14D						
Altura (cm)	29.84	30.00		Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm²	δ milésimas			
	29.80	29.75																
	29.83	29.82																
	29.84	29.94																
Diámetro (cm)	14.86	15.02					.00	0	0	0	.00							
	14.89	15.19						25	90	14.2	.17							
	14.92	15.09						50	83	28.4	.28							
	14.98	14.97						75	76.5	42.6	.39							
	14.92	15.17						100	70	56.8	.50							
	14.91	15.28						125	64	71	.60							
Peso (Kg)	11.56	11.89						150	57	85.2	.72							
Carga rot.(KN)	340.02	347.83						175	49	99.4	.85							
Tipo de falla	Corte	Cabezal Sup e inferior						200	41	114	.98							
Gráfico de falla									225	34	128	1.10						
										250	25	142	1.25					
											275	14	156	1.43				
											300	96	170	1.73				
											310	87	176	1.88				
											320	78	182	2.03				
											330	73	187	2.12				
											340	70	193	2.17				
			Observaciones															
			Diámetro (cm)	14.91	15.12													
			Sección(cm²)	174.68	179.55													
			Altura (cm)	29.83	29.88													
			Volumen(cm³)	5210.22	5364.78													
			Peso unitario	2.219 Kg/litro	2.216 Kg/litro													
P.U.promedio	2.218 Kg/litro		±0.05%															
Esfuerzo rotura	198.4 Kg/cm²	197.5 Kg/cm²																
Resistencia promedio	197.9 Kg/cm²		±0.24%															
f'c	197.1 Kg/cm²		Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	0.036139		-4.6185															
Coeficientes	-a=8.4536	b=0.252	c=127.8															
Ecuación σ=	-8.4536d³+0.252d²+127.8d-4.6185																	
Módulo elasticidad (secante)	123000 Kg/cm²																	
Coeficiente por √f'c	8760 √Kg/cm																	
Observaciones:																		

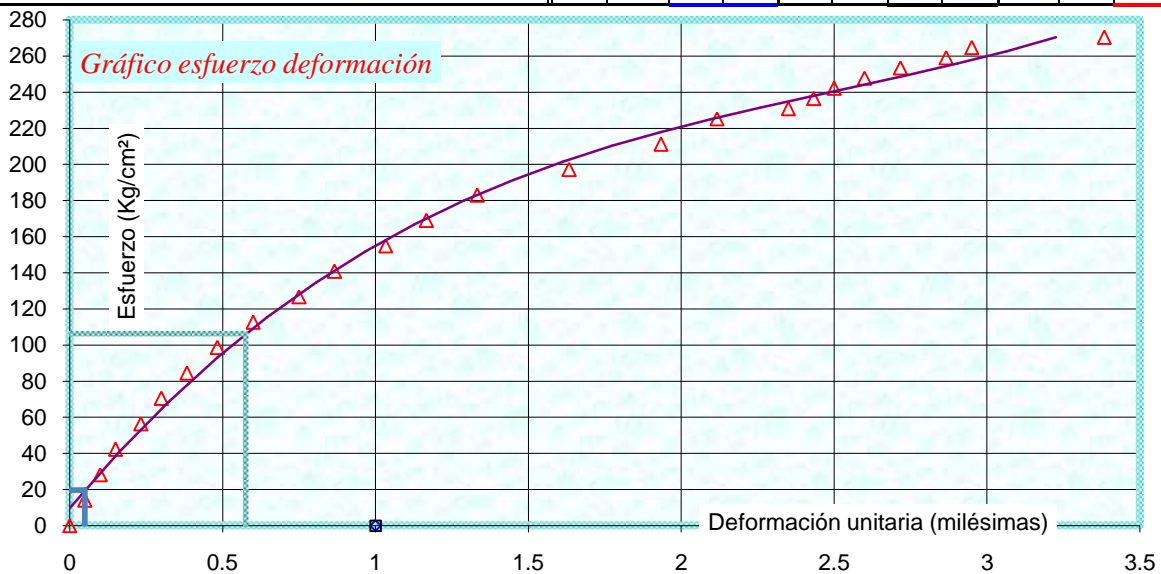


Agua/cemento	0.51	%material fino	10%	Edad	7 días	f'c=	197 Kg/cm²
--------------	------	----------------	-----	------	--------	------	------------

Gráfico 5.36 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=7 días

Tabla 5.31 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm	
Elaboración		Mar 02, Ene		10%		KN		Unidad de deformación		.001 mm	
Ensayado		Mar 16, Ene		Edad (días)		14		Peso Kg		Dimensión cm	
								σ Kg/cm²		δ milésimas	
Identificación	4D	5D	6D	Id		4D		5D		6D	
Altura (cm)	30.45 30.60 30.51 30.52	30.54 30.46 30.38 30.35	30.40 30.54 30.33 30.37	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm²	d milésimas	Carga KN	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm²	d milésimas
Díametro (cm)	15.26 15.25 15.21 15.30 15.17 15.30	15.38 15.03 15.21 15.19 15.15 15.10	15.29 15.14 15.21 15.22 15.13 15.10				.00				.00
Peso (Kg)	12.31	12.19	12.2								
Carga rot.(KN)	476.66	491.48	483.99								
Tipo de falla	Corte	Corte, concava no explosiva	Corte diagonal								
Gráfico de falla											
Observaciones			Ninguna de las caras superior e inferior se fisuran								
Díametro (cm)	15.25	15.18	15.18								
Sección(cm²)	182.61	180.90	181.02								
Altura (cm)	30.52	30.43	30.41								
Volumen(cm³)	5573.39	5505.29	5504.85								
Peso unitario P.U.promedio	2.209 Kg/litro	2.214 Kg/litro	2.216 Kg/litro								
Esfuerzo rotura	266.1 Kg/cm²	276.9 Kg/cm²	272.5 Kg/cm²								
Resistencia promedio	271.9 Kg/cm²		±2.00%								
f'c	265.3 Kg/cm²		Alfa=1.2								
Abscisa y ordenada a origen	-0.046792147		9.6255								
Coefficientes	a=8.7572	-b=66.003	c=202.6								
Ecuación σ=	8.7572d³-66.003d²+202.6d+9.6255										
Módulo elasticidad (secante)	164000 Kg/cm²										
Coefficiente por vvf'c	10069										
Observaciones:											

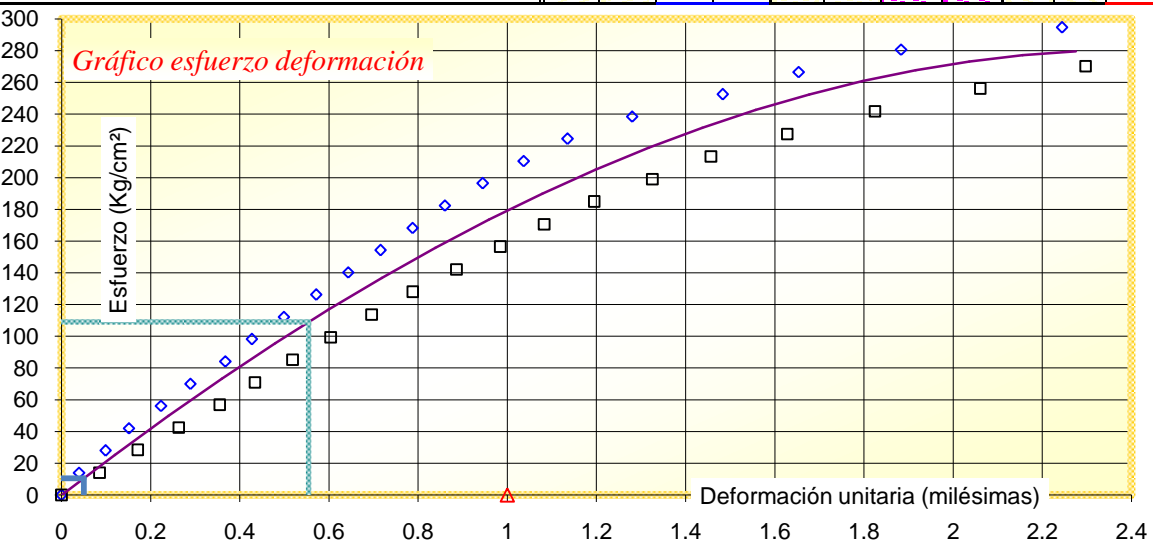


Agua/cemento	0.51	%material fino	15%	Edad	14 días	f'c=	265 Kg/cm²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------

Gráfico 5.37 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=14 días

Tabla 5.32 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro											
Elaboración		Mar 02, Ene		.51		Unidades de carga		15.2 cm											
Ensayado		Mar 30, Ene		10%		KN		.001 mm											
Edad (días)				28		Peso Kg		σ Kg/cm ²											
						Dimensión cm		δ milésimas											
Identificación	7D	8D	9D	ld	7D				8D				9D						
Altura (cm)	30.64 30.62 30.52 30.54	30.10 30.03 30.16 30.05	30.30 30.23 30.19 30.13		Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas			
Díametro (cm)	15.34 15.15 15.08 15.19 15.40 15.09	15.15 15.34 15.00 15.00 14.96 15.16	15.22 15.04 15.28 15.13 15.12 15.22		0	68	0	.00	0	50	0	.00							
Peso (Kg)	12.29	11.94	12.18		25	74	14	.04	25	63	14.2	.09							
Carga rot.(KN)	532	491	495.45		50	83	28.1	.10	50	76	28.5	.17							
Tipo de falla	Corte	Ninguna Visible	Cabezal		75	91	42.1	.15	75	90	42.7	.26							
Gráfico de falla					100	2	56.1	.22	100	4	56.9	.35							
					125	12	70.1	.29	125	16	71.1	.43							
					150	24	84.2	.37	150	29	85.4	.52							
					175	33	98.2	.43	175	42	99.6	.60							
					200	44	112	.50	200	56	114	.70							
					225	55	126	.57	225	70	128	.79							
					250	66	140	.64	250	85	142	.89							
					275	77	154	.72	275	100	157	.98							
					300	88	168	.79	300	15	171	1.08							
					325	99	182	.86	325	32	185	1.19							
Observaciones					350	12	196	.94	350	52	199	1.33							
					375	26	210	1.04	375	72	213	1.46							
					400	41	224	1.14	400	98	228	1.63							
					425	63	238	1.28	425	28	242	1.82							
					450	94	253	1.48	450	64	256	2.06							
					475	20	267	1.65	475	0	270	2.30							
					500	55	281	1.88											
					525	10	295	2.24											
Díametro (cm)	15.21	15.10	15.17																
Sección(cm ²)	181.66	179.12	180.70																
Altura (cm)	30.58	30.09	30.21																
Volumen(cm ³)	5555.08	5388.77	5459.49																
Peso unitario	2.212 Kg/litro	2.216 Kg/litro	2.231 Kg/litro																
P.U.promedio			#iDIV/0!																
Esfuerzo rotura	298.5 Kg/cm ²	279.4 Kg/cm ²	279.5 Kg/cm ²																
Resistencia promedio		285.8 Kg/cm ²	±3.34%																
f'c		272.6 Kg/cm ²	Alfa=1.2																
Abscisa y ordenada a origen		0.00058	-0.1266																
Coefficientes	-a=2.9383	-b=34.725	c=217.13																
Ecuación σ=		-2.9383d ³ -34.725d ² +217.13d-0.1266																	
Módulo elasticidad (secante)		195000 Kg/cm ²																	
Coefficiente por √f'c		11811	√Kg/cm																
Observaciones:																			

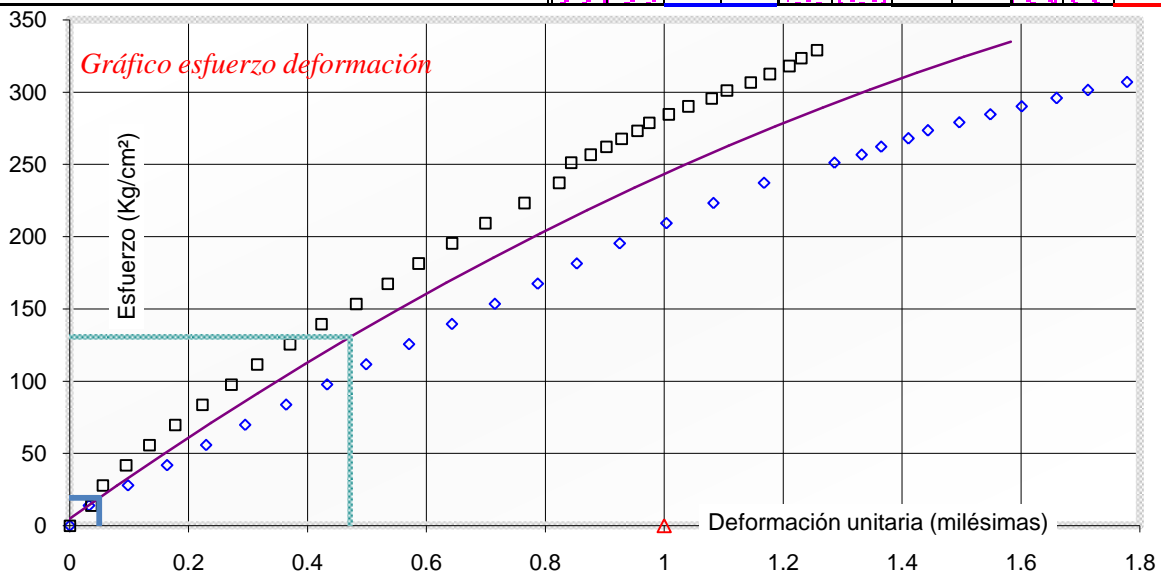


Agua/cemento	0.51	%material fino	10%	Edad	28 días	f'c =	273 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	-------	------------------------

Gráfico 5.38 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=28 días

Tabla 5.33 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C .51		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm							
Elaboración Mar 02, Ene				% finos 10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm							
Ensayado Mar 27, Feb				Edad (días) 56		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²		δ milésimas			
Identificación	11D	12D		11D				12D							
Altura (cm)	30.15 30.25 30.07 30.28	30.40 30.47 30.31 30.44	30.92 31.02 31.12 31.10	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.30 15.16 15.29 15.19 15.26 15.30	15.24 15.18 15.24 15.34 15.28 15.24	15.67 15.79 15.65 15.70 15.71 15.80	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 460 470 480 490 500	56 61 71 81 91 1 11.5 22	0 14 27.9 41.9 55.8 69.8 83.7 97.7	.00 .10 .16 .23 .30 .36 .43	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 460 470 480 490 500	87.5 93 96 2 8 14.5 21.5 29	0 13.9 27.9 41.8 55.8 69.7 83.7 97.6	.00 .06 .10 .13 .18 .22 .27				
Peso (Kg)	12.24	12.28	13.37												
Carga rot.(KN)	618.43	601.45	625												
Tipo de falla	Corte concava	Cabezal Plana	Cabezal												
Gráfico de falla															
Observaciones															
Díametro (cm)	15.25	15.25	15.72												
Sección(cm ²)	182.65	182.73	194.09												
Altura (cm)	30.19	30.41	31.04												
Volumen(cm ³)	5513.87	5556.03	6024.44												
Peso unitario P.U.promedio	2.220 Kg/litro	2.210 Kg/litro	2.219 Kg/litro												
		2.216 Kg/litro	±0.22%												
Esfuerzo rotura	345.1 Kg/cm ²	335.5 Kg/cm ²	328.3 Kg/cm ²												
Resistencia promedio		336.3 Kg/cm ²	±2.51%												
f'c		326.1 Kg/cm ²	Alfa=1.2												
Abscisa y ordenada a origen		-0.01624	4.7523												
Coefficientes	a=1.0357	-b=54.2425	c=291.78												
Ecuación $\sigma =$	1.0357d ³ -54.2425d ² +291.78d+4.7523														
Módulo elasticidad (secante)	263000 Kg/cm ²														
Coefficiente por v'c	14563 vKg/cm														
Observaciones:															

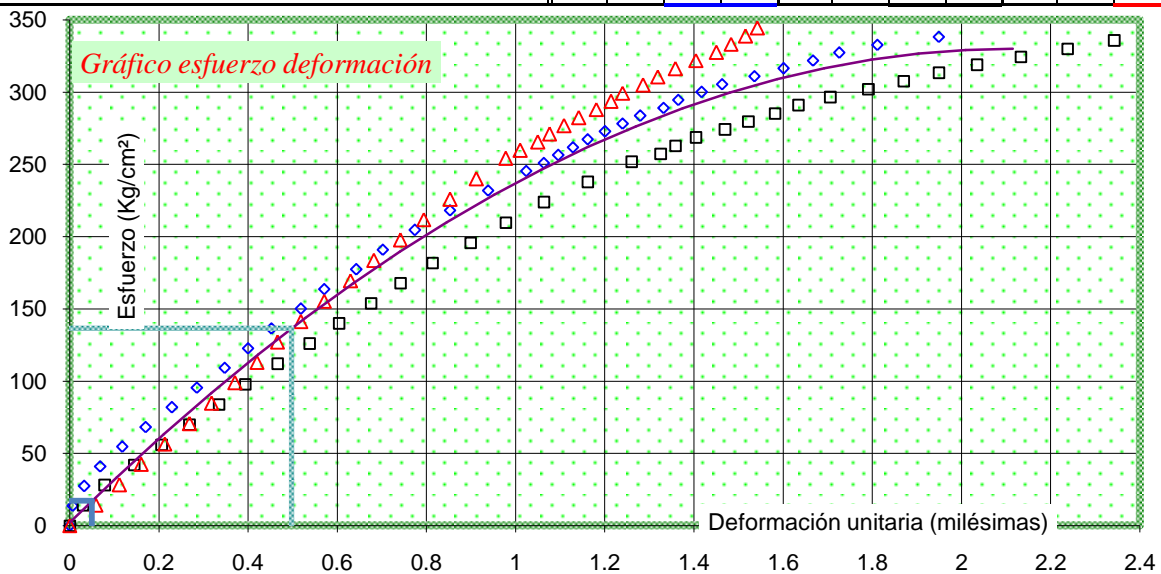


Agua/cemento	0.51	%material fino	10%	Edad	56 días	f'c=	326 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.39 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=10% a edad=56 días

Tabla 5.34 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C .38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro 15.2 cm									
Elaboración Lun 05, Feb				% finos 10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm									
Ensayado Lun 12, Feb				Edad (días) 7		Peso Kg	Dimensión cm	σ Kg/cm ²		δ milésimas							
Identificación	10-I	11-I	12-I	Id	10-I				11-I				12-I				
Altura (cm)	30.78 30.79 30.67 30.79	30.48 30.39 30.34 30.43	30.15 30.24 30.20 30.22		Carga KN	Def. .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	
Díametro (cm)	15.49 15.36 15.38 15.46 15.43 15.43	15.32 15.16 15.24 15.22 15.20 15.25	14.98 15.27 15.28 15.03 15.25 15.15	0 25 50 75 100 125 150 175	11 12 16 21.5 29 37 46 54.5	0 13.6 27.3 40.9 54.5 68.2 81.8 95.5	.00 .01 .03 .07 .12 .17 .23 .29	.00 .01 .03 .07 .12 .17 .23 .29	0 83 25 95 5 24 34 43	83 87.5 95 100 14.5 24 34 43	0 14 28 42 55.9 69.9 83.9 97.9	.00 .03 .08 .14 .21 .27 .33 .39	0 6 25 50 75 100 125 175	6 15 23 30.5 38.5 47 54.5 62.5	0 14.1 28.2 42.4 56.5 70.6 84.7 98.8	.00 .06 .11 .16 .21 .27 .32 .37	
Peso (Kg) Carga rot.(KN)	12.65 626	12.21 626	12.06 616	150 175	46 54.5	81.8 95.5	.23 .29	.23 .29	150 175	34 43	83.9 97.9	.33 .39	150 175	54.5 62.5	84.7 98.8	.32 .37	
Tipo de falla	Corte concava	Agrietamiento Disperso	Corte concava	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 460 470 480 490 500	64 72 80 90 98 9 18 29 54 67 73 78 83 88 94	109 123 136 150 164 177 191 205 232 245 251 256 262 267 273	.35 .40 .45 .52 .57 .64 .70 .77 .85 .94 1.02 1.06 1.10 1.13 1.16 1.20	.35 .40 .45 .52 .57 .64 .70 .77 .85 .94 1.02 1.06 1.10 1.13 1.16 1.20	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 460 470 480 490 500	54 65 75 86 96 7 20 32 45 60 75 85 90 97 7 15	112 126 140 154 168 182 196 210 224 238 252 257 263 269 274 280	.47 .54 .60 .68 .74 .81 .90 .98 1.06 1.16 1.33 1.36 1.40 1.47 1.52	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 460 470 480 490 500	70 77 85 93 100 107 119 127 136 145 155 160 166 170 175 180	113 127 141 155 169 184 198 212 226 240 254 260 265 271 277 282	.42 .47 .52 .57 .63 .68 .74 .79 .85 .91 .98 1.01 1.05 1.08 1.11 1.14	
Gráfico de falla																	
Observaciones																	
Díametro (cm)	15.43	15.23	15.16	510	0	278	1.24	1.24	510	24	285	1.58	510	86	288	1.18	
Sección(cm ²)	186.87	182.22	180.50	520	6	284	1.28	1.28	520	32	291	1.63	520	91	294	1.21	
Altura (cm)	30.76	30.41	30.20	530	14	289	1.33	1.33	530	43	296	1.71	530	95	299	1.24	
Volumen(cm ³)	5747.66	5541.17	5451.69	540	19	295	1.36	1.36	540	56	302	1.79	540	2	305	1.29	
Peso unitario	2.201 Kg/litro	2.204 Kg/litro	2.212 Kg/litro	550	27	300	1.42	1.42	550	68	308	1.87	550	7	311	1.32	
P.U.promedio	341.5 Kg/cm ²	350.2 Kg/cm ²	347.9 Kg/cm ²	560	34	305	1.46	1.46	560	80	313	1.95	560	13	316	1.36	
Esfuerzo rotura	341.5 Kg/cm ²	350.2 Kg/cm ²	347.9 Kg/cm ²	570	45	311	1.54	1.54	570	93	319	2.03	570	20	322	1.40	
Resistencia promedio	346.5 Kg/cm ²	346.5 Kg/cm ²	±1.26%	580	55	316	1.60	1.60	580	8	324	2.13	580	27	328	1.45	
f'c	341.1 Kg/cm ²	Alfa=1.2		590	65	322	1.67	1.67	590	24	330	2.24	590	32	333	1.48	
Abscisa y ordenada a origen	-0.006705513	2.0405		600	74	327	1.73	1.73	600	40	336	2.34	600	37	339	1.52	
Coefficientes	-a=1.3871	-b=67.3943	c=303.85	610	87	333	1.81	1.81	610	65	341	2.51	610	41	344	1.54	
Ecuación $\sigma =$	-1.3871d ³ -67.3943d ² +303.85d+2.0405			620	8	338	1.95	1.95	620	90	347	2.67					
Módulo elasticidad (secante)	266000 Kg/cm ²																
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	14403 $\sqrt{Kg/cm}$																
Observaciones:	Excesivo módulo de elasticidad por distorsión en cilindro 12i																

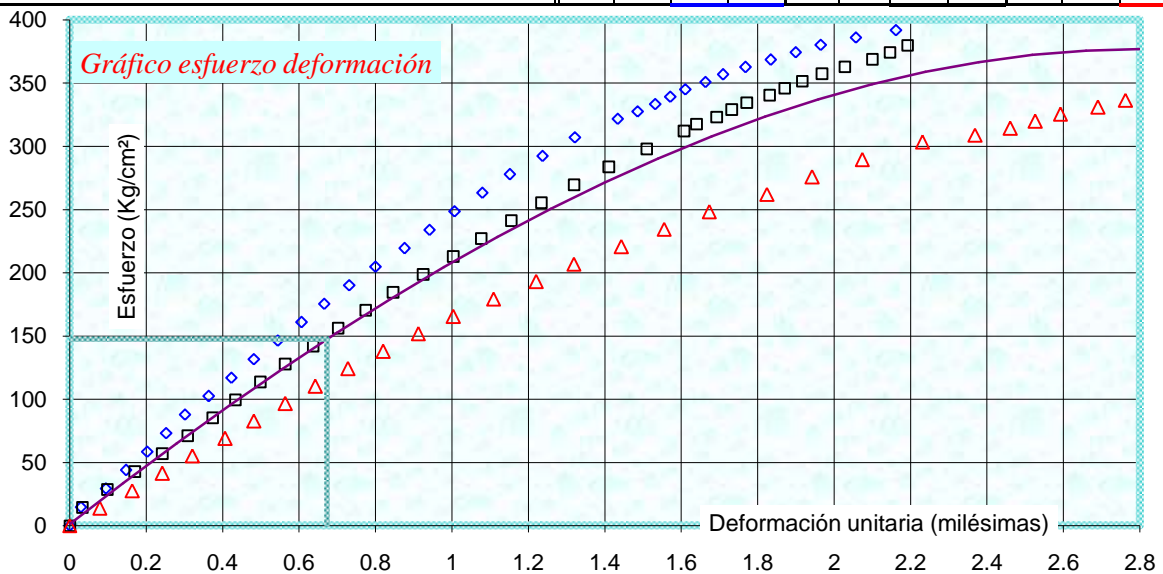


Agua/cemento	0.38	%material fino	10%	Edad	7 días	f'c =	341 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	--------	-------	------------------------

Gráfico 5.40 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=7 días

Tabla 5.35 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C .38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm							
Elaboración Lun 05, Feb				10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm							
Ensayado Lun 19, Feb				Edad (días) 14		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²		δ milésimas			
Identificación	7-l	8-l	9-l	Id	7-l	8-l	9-l	7-l	8-l	9-l	7-l	8-l	9-l		
Altura (cm)	29.96 29.96 30.04 29.98	30.51 30.50 30.38 30.46	30.38 30.29 30.45 30.32	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	14.89 14.88 14.86 14.93 14.92 14.90	15.18 15.11 15.03 15.12 15.16 15.16	15.27 15.04 15.31 15.03 15.43 15.96	0 25 50 75 100 125	30.5 35 45 53 61.5 69	0 14.6 29.2 43.9 58.5 73.1	.00 .03 .10 .15 .20 .25	0 25 50 75 100 125	25 30 40 51 62 72	0 14.2 28.4 42.5 56.7 70.9	.00 .03 .10 .17 .24 .31	0 25 50 75 100 125	84 96 9 21 33 46	0 13.8 27.6 41.4 55.2 68.9	.00 .08 .16 .24 .32 .41
Peso (Kg) Carga rot.(KN)	11.538 677	12.032 672	12.072 674	150 175	76.5 86	87.7 102	.30 .36	150 175	82 91	85.1 99.3	.37 .43	150 175	57.5 70	82.7 96.5	.48 .56
Tipo de falla	Corte Cóncava Explotó	Corte cónica Explotó	No se hizo fallar completamente	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 560	95 4 13.5 23 32 42 52.5 64 74 84 95 6 19 32 49 57	117 132 146 161 175 190 205 219 234 249 263 278 292 307 322 328	.42 .48 .54 .61 .67 .73 .80 .88 .94 1.01 1.08 1.15 1.24 1.32 1.43 1.49	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 560	1 11 22 32 43 54 66 78 89 1 13 26 40 55 70 75	113 128 142 156 170 184 199 213 227 241 255 269 284 298 312 318	.50 .56 .64 .70 .77 .85 .93 1.00 1.08 1.15 1.23 1.41 1.51 1.61 1.64	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 560	82 95 9 23 37 53 70 85 4 21 39 62 80 0 24 45	110 124 138 152 165 179 193 207 221 234 248 262 276 290 303 309	.64 .73 .82 .91 1.00 1.11 1.22 1.32 1.44 1.56 1.67 1.82 1.94 2.07 2.23 2.37
Gráfico de falla				600 610 620 630 640 650 660 670	84 91 0 10 17 25 30 38 44 60	351 357 363 368 374 380 386 392	1.66 1.71 1.77 1.83 1.90 1.97 2.06 2.16	600 610 620 630 640 650 660 670	4 10 17 25 34 45 52 59	340 346 352 357 363 369 374 380	1.83 1.87 1.92 1.97 2.03 2.10 2.15 2.19	600 610 620 630 640 650 660 670	94 5 25 45 70 90 20 53	331 336 342 347 353 359 364 370	2.69 2.76 2.89 3.02 3.19 3.32 3.52 3.73
Observaciones															
Díametro (cm)	14.90	15.13	15.34	570	64	333	1.53	570	83	323	1.69	570	59	314	2.46
Sección(cm ²)	174.29	179.71	184.82	580	70	339	1.57	580	89	329	1.73	580	69	320	2.53
Altura (cm)	29.99	30.46	30.36	590	76	345	1.61	590	95	335	1.77	590	79	325	2.59
Volumen(cm ³)	5226.03	5474.47	5611.03	600	84	351	1.66	600	4	340	1.83	600	94	331	2.69
Peso unitario	2.208 Kg/litro	2.198 Kg/litro	2.151 Kg/litro	610	91	357	1.71	610	10	346	1.87	610	5	336	2.76
P.U.promedio		2.186 Kg/litro	±1.29%	620	0	363	1.77	620	17	352	1.92	620	25	342	2.89
Esfuerzo rotura	396.0 Kg/cm ²	381.2 Kg/cm ²	371.7 Kg/cm ²	630	10	368	1.83	630	25	357	1.97	630	45	347	3.02
Resistencia promedio		383.0 Kg/cm ²	±3.16%	640	20	374	1.90	640	34	363	2.03	640	70	353	3.19
f'c		368.3 Kg/cm ²	Alfa=1.2	650	30	380	1.97	650	45	369	2.10	650	90	359	3.32
Abscisa y ordenada a origen		-0.004995798	1.1758	660	44	386	2.06	660	52	374	2.15	660	20	364	3.52
Coefficientes	-a=4.2246	-b=24.2567	c=235.2367	670	60	392	2.16	670	59	380	2.19	670	53	370	3.73
Ecuación $\sigma =$	$-4.2246d^3 - 24.2567d^2 + 235.2367d + 1.1758$														
Módulo elasticidad (secante)	215000 Kg/cm ²														
Coefficiente por v'f'c	11203 vKg/cm														
Observaciones:															

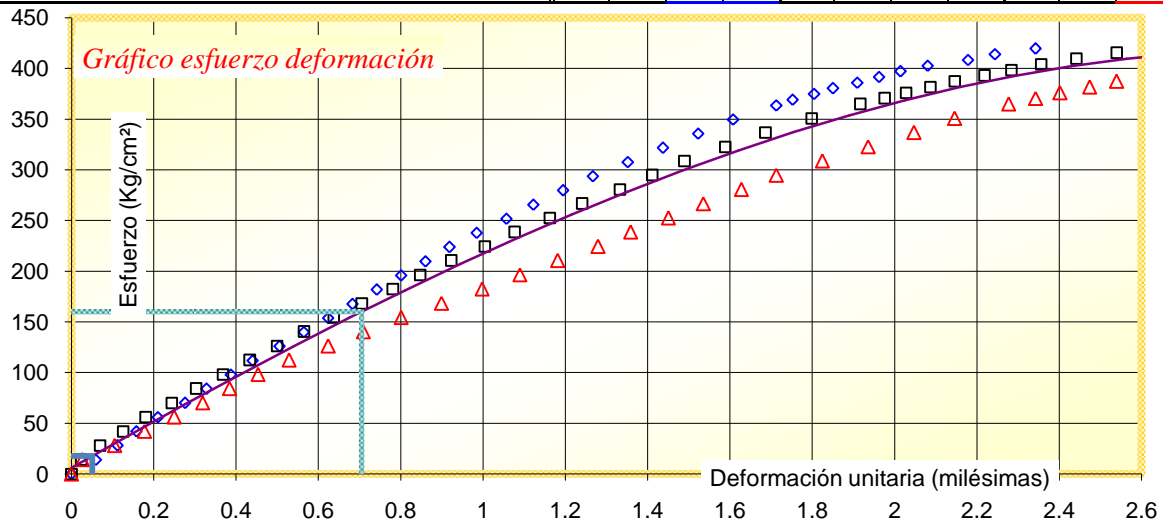


Agua/cemento	0.38	%material fino	10%	Edad	14 días	f'c=	368 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.41 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=14 días

Tabla 5.36 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C .38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm			
Elaboración Lun 05, Feb		Ensayado Lun 05, Mar		% finos 10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm			
Edad (días) 28				Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm²			
								δ milésimas			
Identificación	3-I	4-I	6-I	Id							
Altura (cm)	30.40	30.39	30.36	3-I				4-I			
	30.34	30.40	30.29	Carga KN	Def. 001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
	30.45	30.42	30.52								
	30.40	30.52	30.27								
Diámetro (cm)	15.20	15.25	15.29	0	63	0	.00	0	86	0	.00
	15.25	15.15	15.02	25	72	14	.06	25	89.5	14	.02
	15.25	15.23	15.30	50	80	28	.11	50	96.5	28.1	.07
	15.25	15.23	15.05	75	87	41.9	.16	75	5	42.1	.12
	15.16	15.22	15.42	100	95	55.9	.21	100	13.5	56.1	.18
Peso (Kg)	12.182	12.238	12.08	125	5	69.9	.28	125	23	70.2	.24
Carga rot.(KN)	755.07	772.24	716.21	150	13	83.9	.33	150	32	84.2	.30
Tipo de falla	Corte explosiva como corazón	Corte cóncava explosiva	Corte cóncava explosiva	175	22	97.9	.39	175	42	98.2	.37
				200	30	112	.44	200	52	112	.43
Gráfico de falla				225	40	126	.51	225	62	126	.50
				250	49	140	.56	250	72	140	.56
				275	58	154	.62	275	83	154	.64
				300	67	168	.68	300	93.5	168	.71
				325	76	182	.74	325	5	182	.78
				350	85	196	.80	350	15	196	.85
				375	94	210	.86	375	26.5	211	.92
				400	3	224	.92	400	39	225	1.00
				425	13	238	.98	425	50	239	1.08
				450	24	252	1.06	450	63	253	1.16
				475	34	266	1.12	475	75	267	1.24
				500	45	280	1.19	500	89	281	1.33
				525	56	294	1.27	525	1	295	1.41
				550	69	308	1.35	550	13	309	1.49
				575	82	322	1.44	575	28	323	1.59
Observaciones				600	95	336	1.52	600	43	337	1.69
				625	8	350	1.61	625	60	351	1.80
				650	24	364	1.71	650	78	365	1.92
				660	30	369	1.75	660	87	371	1.98
				670	38	375	1.80	670	95	376	2.03
				680	45	380	1.85	680	4	382	2.09
				690	54	386	1.91	690	13	387	2.15
				700	62	392	1.96	700	24	393	2.22
				710	70	397	2.01	710	34	399	2.28
				720	80	403	2.08	720	45	404	2.36
				730	95	408	2.18	730	58	410	2.44
				740	5	414	2.24	740	73	415	2.54
				750	20	419	2.34	750	87	421	2.63
								760	92	427	2.66
	Diámetro (cm)	15.23	15.21	15.21	f'c 400.1 Kg/cm²						Alfa=1.2
Sección(cm ²)	182.26	181.58	181.62	Abscisa y ordenada a origen -0.026112846						6.0579	
Altura (cm)	30.40	30.43	30.36	Coeficientes -a=5.5199						-b=14.7946	
Volumen(cm ³)	5540.10	5525.87	5513.91	Ecuación $\sigma =$ -5.5199d³-14.7946d²+231.6067d+6.0579							
Peso unitario	2.199 Kg/litro	2.215 Kg/litro	2.191 Kg/litro	Módulo elasticidad (secante) 217000 Kg/cm²							
P.U.promedio		2.201 Kg/litro	$\pm 0.54%$	Coeficiente por v'f'c 10849 vKg/cmv							
Esfuerzo rotura	422.3 Kg/cm ²	433.5 Kg/cm ²	402.0 Kg/cm ²	Observaciones:							
Resistencia promedio											

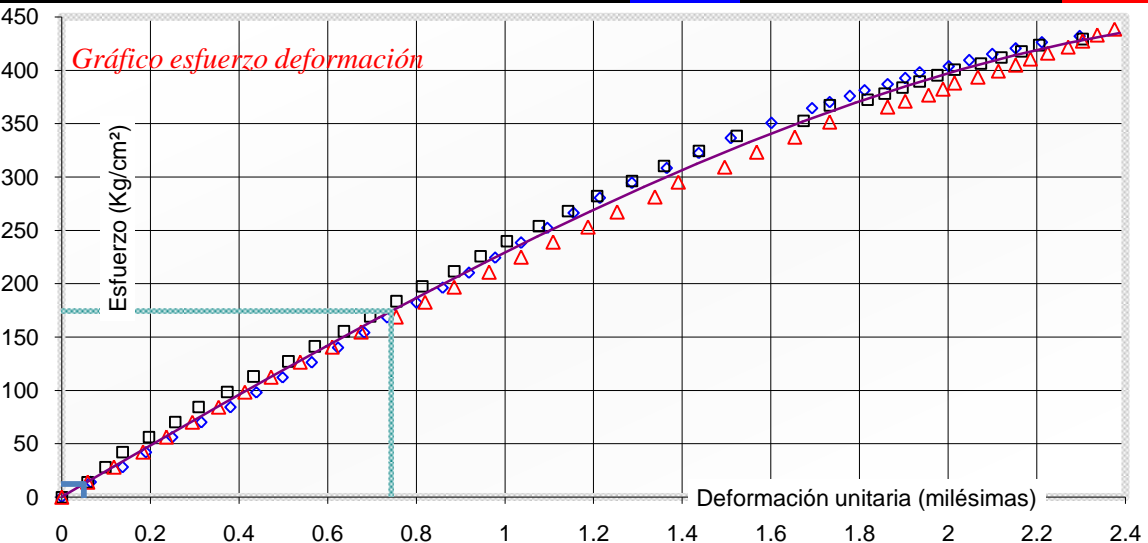


Agua/cemento	0.38	%material fino	10%	Edad	28 días	f'c=	400 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.42 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=28 días

Tabla 5.37 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C .38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm			
Elaboración Lun 05, Feb				% finos 10%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm			
Ensayado Lun 02, Abr				Edad (días) 56		Peso Kg		Dimensión cm			
						σ Kg/cm²		δ milésimas			
Identificación	1-1	2-1	13-1	Id		1-1		2-1		13-1	
Altura (cm)	30.42 30.29 30.45 30.44	30.24 30.26 30.25 30.27	30.30 30.25 30.42 30.39	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.15 15.21 15.35 15.32 15.14 15.11	15.35 15.04 15.12 15.15 15.17 15.14	15.20 15.18 15.25 15.29 15.13 15.10	0 25 50 75 100 125	80 90 1 9 18 28	0 14 28 42.1 56.1 70.1	.00 .07 .14 .19 .25 .31	0 25 50 68 100 125	47 56 62 75 77 86	0 14.1 28.2 42.3 56.5 70.6	.00 .06 .10 .14 .20 .26
Peso (Kg) Carga rot.(KN)	12.28 790.4	12.04 772	12.18 785	150 175	38 47	84.1 98.1	.38 .44	150 175	94 4	84.7 98.8	.31 .37
Tipo de falla	Destruc. Total bicónica	No se hizo fallar por seguridad	No se hizo fallar por seguridad	200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500	56 66 75 84 92 2 11 20 29	112 126 140 154 168 182 196 210 224	.50 .56 .62 .68 .73 .80 .86 .92 .98	200 225 250 275 300 325 350 375 400	13 25 34 44 53 62 71 82 91	113 127 141 155 169 183 198 212 226	.43 .51 .57 .64 .70 .75 .81 .89 .94
Gráfico de falla											
Observaciones											
Díametro (cm)	15.21	15.16	15.19	525	76	294	1.29	525	43	296	1.29
Sección(cm ²)	181.78	180.54	181.26	550	88	308	1.36	550	54	311	1.36
Altura (cm)	30.40	30.26	30.34	575	99	322	1.44	575	66	325	1.44
Volumen(cm ³)	5526.02	5462.37	5499.41	600	10	336	1.51	600	79	339	1.52
Peso unitario	2.222 Kg/litro	2.204 Kg/litro	2.215 Kg/litro	625	24	350	1.60	625	2	353	1.67
Peso unit.prom.	2.214 Kg/litro	±0.41%		650	38	365	1.69	650	11	367	1.73
Esfuerzo rotura	443.2 Kg/cm ²	435.9 Kg/cm ²	441.5 Kg/cm ²	660	44	370	1.73	660	24	373	1.82
Resistencia promedio	440.2 Kg/cm ²	±0.84%		670	51	376	1.78	670	30	378	1.86
f'c	435.6 Kg/cm ²		Alfa=1.2	680	56	381	1.81	680	36	384	1.90
Abscisa y ordenada a origen	-0.00069877		0.1695	690	64	387	1.86	690	42	390	1.94
Coefficientes	-a=8.4347	-b=5.1603	c=242.5667	700	70	393	1.90	700	48	395	1.98
Ecuación $\sigma =$	-8.4347d ³ -5.1603d ² +242.5667d+0.1695			710	75	398	1.94	710	54	401	2.01
Módulo elasticidad (secante)	233000 Kg/cm ²			720	85	404	2.00	720	63	407	2.07
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	11164 $\sqrt{Kg/cm}$			730	92	409	2.05	730	70	412	2.12
Observaciones:				740	0	415	2.10	740	77	418	2.17
				750	8	421	2.15	750	83	423	2.20
				760	17	426	2.21	760	98	429	2.30
				770	30	432	2.30	770	59	433	2.34
				780	48	437	2.41	780	65	439	2.38

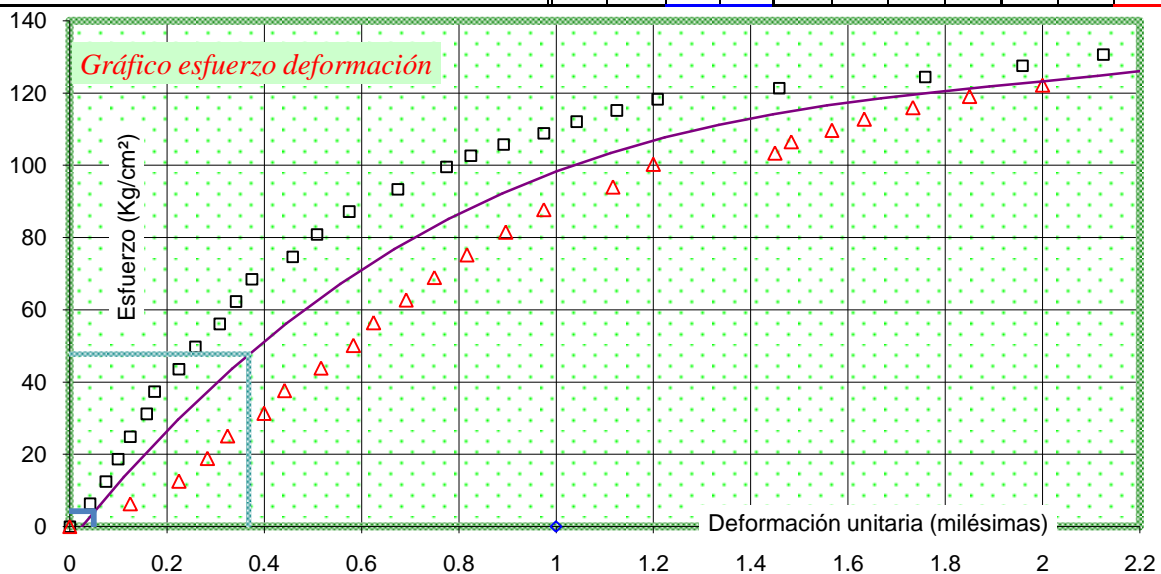


Agua/cemento	0.38	%finos	10%	56 días	f'c= 436 Kg/cm ²
--------------	------	--------	-----	---------	-----------------------------

Gráfico 5.43 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=10% a edad=56 días

Tabla 5.38 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C		.64		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro		15.2 cm					
Elaboración		Lun 15 Enero		% finos		15%		Unidades de carga		Kip		Unidad de deformación		.001 mm			
Ensayado		Lun 22 Enero		Edad (días)		7		Peso		Kg		Dimensión		cm			
												σ		Kg/cm ²			
														δ		milésimas	
Identificación	10J	11J	12J	Id		10J		11J		12J							
Altura (cm)	30.35	30.35	30.13	Carga Kip	Def .0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga Kip	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga Kip	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas		
	30.45	30.26	30.24														
	30.35	30.36	29.86														
	30.52	30.27	30.02														
Diámetro (cm)	15.43	15.23	15.33				.00	0	70.5	0	.00	0	57	0	.00		
	15.49	15.20	14.97														
	15.53	15.25	15.28														
	15.56	15.30	15.10														
	15.62	15.16	15.21														
	15.42	15.25	15.19														
Peso (Kg)	12.66	12.14	11.99	Carga Kip		11J		12J									
Carga rot.(Kip)	51	52.5	48.75														
Tipo de falla	cabezal Superior	Cabezal Superior	Cabezal														
Gráfico de falla																	
				Observaciones			Los cilindros tienen aspecto terroso										
				Diámetro (cm)	15.51	15.23	15.18										
				Sección(cm ²)	188.89	182.22	180.98										
				Altura (cm)	30.42	30.31	30.06										
				Volumen(cm ³)	5745.71	5522.94	5440.75										
				Peso unitario	2.203 Kg/litro	2.198 Kg/litro	2.204 Kg/litro										
				P.U.promedio	2.202 Kg/litro		±0.13%										
				Esfuerzo rotura	122.5 Kg/cm ²	130.7 Kg/cm ²	122.2 Kg/cm ²										
				Resistencia promedio	125.1 Kg/cm ²		±3.40%										
				f'c	119.3 Kg/cm ²		Alfa=1.2										
				Abscisa y ordenada a origen	0.024153371		-4.0054										
				Coefficientes	a=13.4269	b=78.9085	c=167.73										
				Ecuación $\sigma =$	13.4269d ³ -78.9085d ² +167.73d-4.0054												
				Módulo elasticidad (secante)	136000 Kg/cm ²												
				Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	12451 $\sqrt{Kg/cm}$												
				Observaciones:	La probeta 11J presenta menor deformación												

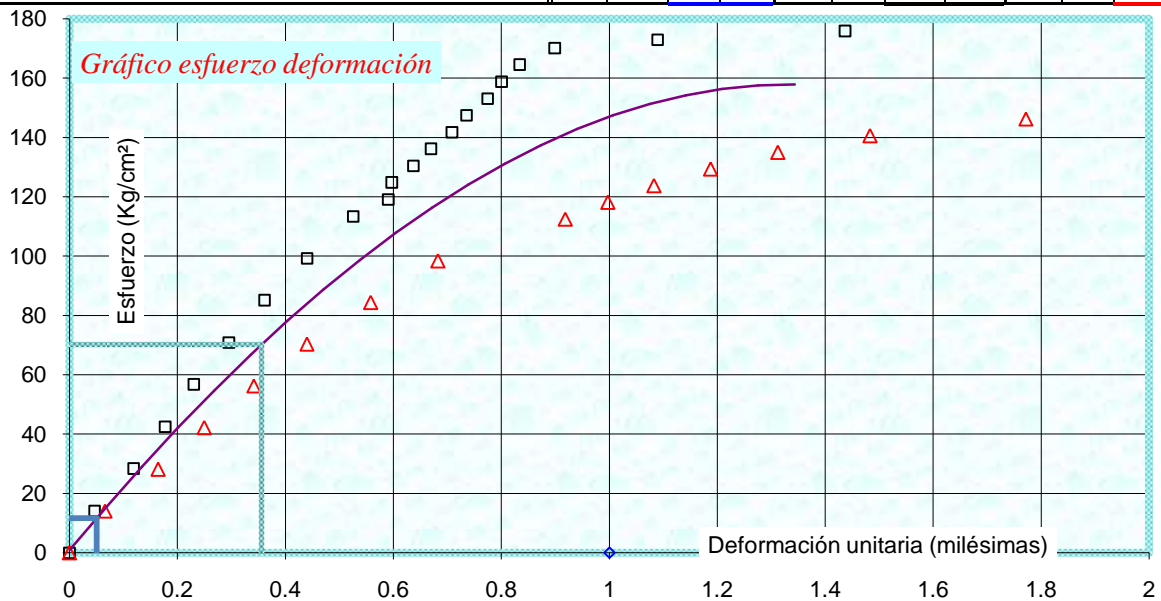


Agua/cemento	0.64	%material fino	15%	Edad	7 días	f'c=	119 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	--------	------	------------------------

Gráfico 5.44 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=7 días

Tabla 5.39 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro		15.2 cm					
Elaboración		Lun 15 Enero		15%		KN		Unidad de deformación		.001 mm					
Ensayado		Lun 29 Enero		Edad (días)		14		σ Kg/cm ²		δ milésimas					
Identificación	7J	8J	9J	Id	7J		8J		9J						
Altura (cm)	29.96	30.53	30.33	Carga KN	Def. 0.01mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas				
	29.83	30.29	30.16												
	29.79	30.31	30.13												
	29.89	30.40	30.00												
Diámetro (cm)	14.88	15.09	15.13	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas				
	14.90	15.02	15.18												
	14.85	15.23	15.23												
	14.96	15.17	15.22												
	14.88	15.10	15.14												
	14.99	15.15	15.25												
Peso (Kg)	11.48	12.1	12.04	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas				
Carga rot.(KN)	301	312	317												
Tipo de falla	cabezal Superior	Cabezal Inferior	Cabezal Superior	200	3	113	.52	200	60	112	.92				
Gráfico de falla				210	13	119	.59	210	72	118	1.00				
				220	14	125	.60	220	85	124	1.08				
				230	20	130	.64	230	1	129	1.19				
				240	25	136	.67	240	20	135	1.31				
				250	31	142	.71	250	46	141	1.48				
				260	35	147	.73	260	90	146	1.77				
				270	41	153	.77	270	75	152	2.33				
				280	45	159	.80								
				290	50	164	.83								
				300	60	170	.90								
				305	89	173	1.09								
				310	42	176	1.44								
				Observaciones											
				Diámetro (cm)	14.91	15.13	15.19								
				Sección(cm ²)	174.60	179.71	181.26								
Altura (cm)	29.87	30.38	30.16												
Volumen(cm ³)	5214.88	5460.09	5465.88												
Peso unitario	2.201 Kg/litro	2.216 Kg/litro	2.203 Kg/litro												
P.U.promedio	2.207 Kg/litro		±0.33%												
Esfuerzo rotura	175.7 Kg/cm ²	177.0 Kg/cm ²	178.3 Kg/cm ²												
Resistencia promedio	177.0 Kg/cm ²		±0.72%												
f'c	175.5 Kg/cm ²		Alfa=1.2												
Abscisa y ordenada a origen	-0.004063435		0.888												
Coefficientes	-a=9.572	-b=62.624	c=218.28												
Ecuación σ=	-9.572d ³ -62.624d ² +218.28d+0.888														
Módulo elasticidad (secante)	191000 Kg/cm ²														
Coefficiente por √f'c	14419 √Kg/cm ²														
Observaciones:	Para la probeta 8J el deformímetro no														

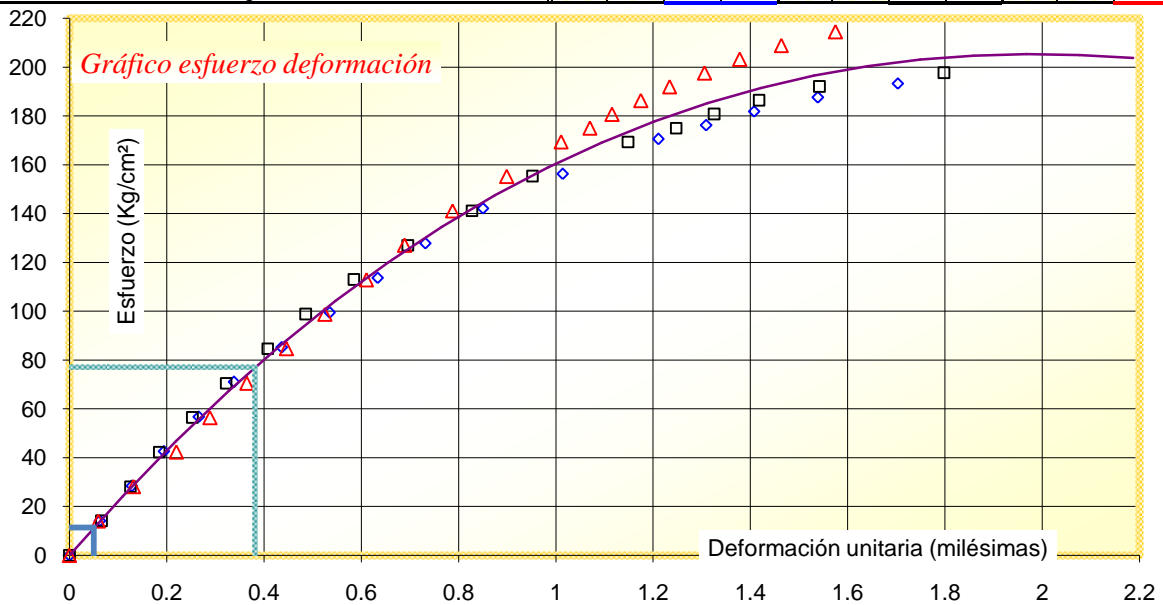


Agua/cemento	0.64	%material fino	15%	Edad	14 días	f'c=	175 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.45 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=14 días

Tabla 5.40 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=28 días


Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformímetro						
Elaboración		Lun 15 Enero		.64		Unidades de carga		15.2 cm						
Ensayado		Lun 12 Febrero		15%		KN		Unidad de deformación						
				Edad (días)		cm		.001 mm						
				28		σ Kg/cm ²		δ milésimas						
Identificación	2J	4J	6J	Id	2J		4J		6J					
Altura (cm)	30.43	30.24	30.50	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas			
	30.45	30.05	30.32	0	65.5	0	.00	0	90	0	.00			
	30.34	30.17	30.42	25	75	14.2	.06	25	0	14.1	.07			
	30.38	30.15	30.37	50	85	28.4	.13	50	9	28.2	.12			
Diámetro (cm)	15.22	15.28	15.15	75	95	42.6	.19	75	18	42.4	.18			
	15.08	14.97	15.12	100	106	56.8	.27	100	28.5	56.5	.25			
	15.09	15.26	15.20	125	117	71	.34	125	39	70.6	.32			
	15.14	15.03	15.16	150	132	85.3	.44	150	52	84.7	.41			
Peso (Kg)	11.98	11.95	12.1	175	147	99.5	.53	175	64	98.8	.49			
	355	348	382	200	162	114	.63	200	79	113	.58			
Carga rot.(KN)				225	177	128	.73	225	96	127	.70			
				250	195	142	.85	250	116	141	.83			
Tipo de falla	cabezal Superior	Cabezal conica	Corte	275	220	156	1.01	275	135	155	.95			
				300	250	171	1.21	300	165	169	1.15			
Gráfico de falla				310	265	176	1.31	310	180	175	1.25			
				320	280	182	1.41	320	192	181	1.33	320	181	
				330	300	188	1.54	330	206	186	1.42	330	190	
				340	225	193	1.70	340	225	192	1.54	340	199	
				350	380	199	2.72	350	264	198	1.80	350	210	
				360	221	203	1.38	370	234	209	1.46	380	251	
				370	234	209	1.46							
				380	251	214	1.57							
				Observaciones										
				Diámetro (cm)	15.11	15.16	15.17							
				Sección(cm ²)	179.36	180.50	180.62							
				Altura (cm)	30.40	30.15	30.40							
Volumen(cm ³)	5452.41	5442.67	5491.41											
Peso unitario	2.197 Kg/litro	2.196 Kg/litro	2.203 Kg/litro											
P.U.promedio	2.199 Kg/litro		±0.18%											
Esfuerzo rotura	201.8 Kg/cm ²	196.5 Kg/cm ²	215.6 Kg/cm ²											
Resistencia promedio	204.6 Kg/cm ²		±4.66%											
f'c	192.8 Kg/cm ²		Alfa=1.2											
Abscisa y ordenada a origen	-0.000304841		0.0701											
Coefficientes	a=5.8347	-b=75.3293	c=229.9333											
Ecuación σ=	5.8347d ³ -75.3293d ² +229.9333d+0.0701													
Módulo elasticidad (secante)	198000 Kg/cm ²													
Coefficiente por √f'c	14259 √Kg/cm													
Observaciones:	Excesivo valor de modulo de elasticidad debido a holgura en deformímetro													

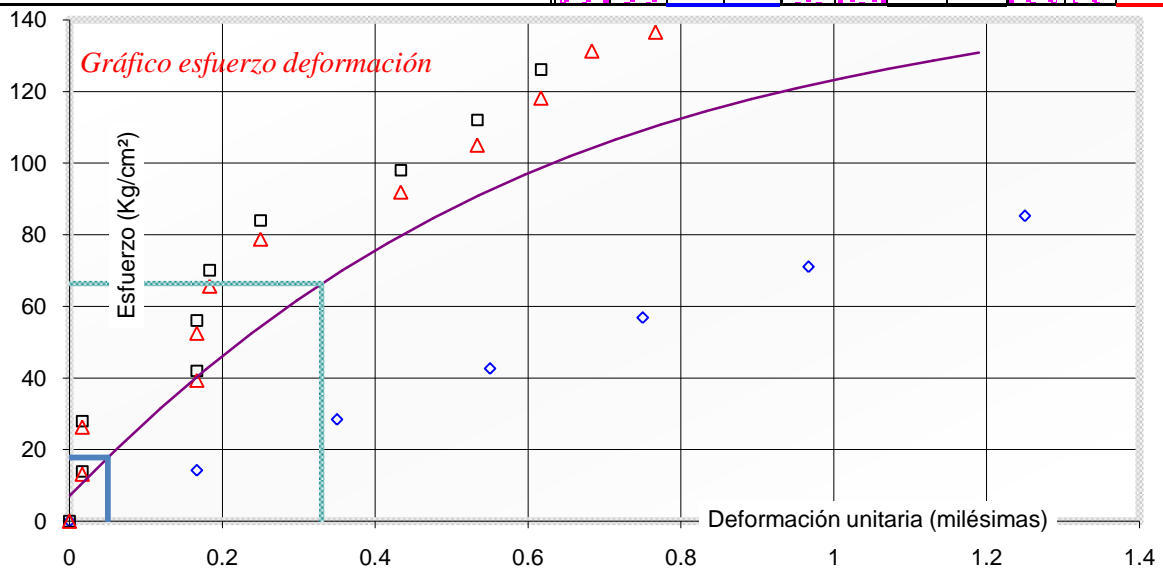


Agua/cemento	0.64	%material fino	15%	Edad	28 días	f'c=	193 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.46 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=28 días

Tabla 5.41 Resultados para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro			
Elaboración		Lun 15 Enero		.64		KN		15.2 cm			
Ensayado		Lun 12 Marzo		15%		Unidades de carga		Unidad de deformación			
				56		Kg		cm		.001 mm	
						Dimensión		σ		δ	
						cm		Kg/cm ²		milésimas	
Identificación	1J	13J	14J	Id		1J		13J		14J	
Altura (cm)	30.13	30.26	30.92	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.0001"	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
	30.16	30.26	31.02	0	0	0	.00	0	0	0	0
	30.16	30.31	31.12	25	90	14.2	.17	25	99	14	.02
	30.03	30.33	31.10	50	79	28.4	.35	50	99	28	.02
Diámetro (cm)	15.14	15.18	15.67	75	67	42.6	.55	75	90	42	.17
	15.04	15.25	15.79	100	55	56.8	.75	100	90	56	.17
	15.05	15.32	15.65	125	42	71	.97	125	89	70.1	.18
	15.19	15.29	15.70	150	25	85.3	1.25	150	85	84.1	.25
	15.13	15.14	15.71	175	0	99.5	1.67	175	74	98.1	.43
	15.12	15.13	15.80								
Peso (Kg)	12.02	12.176	13.37								
Carga rot.(KN)	313.81	299.44	325.45								
Tipo de falla	cabezal inferior	Cabezal conica	Cabezal								
Gráfico de falla											
Observaciones											
Diámetro (cm)	15.11	15.22	15.72								
Sección(cm ²)	179.36	181.90	194.09								
Altura (cm)	30.12	30.29	31.04								
Volumen(cm ³)	5402.19	5509.64	6024.44								
Peso unitario	2.225 Kg/litro	2.210 Kg/litro	2.219 Kg/litro								
P.U.promedio	2.218 Kg/litro ±0.34%										
Esfuerzo rotura	178.4 Kg/cm ²	167.8 Kg/cm ²	170.9 Kg/cm ²								
Resistencia promedio	172.4 Kg/cm ² ±3.06%										
f'c	165.9 Kg/cm ² Alfa=1.2										
Abscisa y ordenada a origen	-0.030987874		7.0471								
Coefficientes	a=36.0214	-b=142.7809	c=222.9557								
Ecuación σ=	36.0214d ³ -142.7809d ² +222.9557d+7.0471										
Módulo elasticidad (secante)	173000 Kg/cm ²										
Coefficiente por v'f'c	13433 vKg/cm										
Observaciones:	Mucha deformación en probeta 1J										

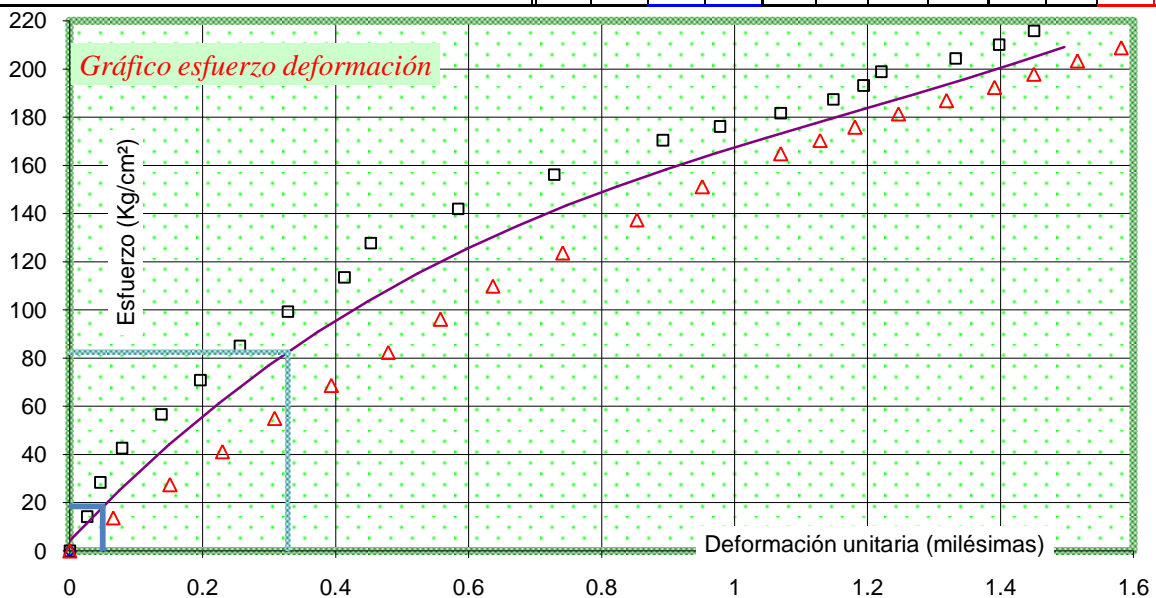


Agua/cemento	0.64	%material fino	15%	Edad	56 días	f'c =	166 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	------	---------	-------	------------------------

Gráfico 5.47 σ vs. δ para A/C=0.64, %Material fino=15% a edad=56 días

Tabla 5.42 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=7 días


Compresión de cilindros				A/C		.51		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm								
Elaboración		Mar 23, Ene		% finos		15%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm						
Ensayado		Mié 31, Ene		Edad (días)		7		Peso		Kg		Dimensión		cm						
												σ		Kg/cm ²						
														δ		milésimas				
Identificación	10K	11K	12K	Id	10K				11K				12K							
Altura (cm)	30.77	30.18	29.77	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas					
	30.71	30.02	29.68	0	1	0	.00	0	64	0	.00	0	80	0	.00					
	30.63	30.23	29.82	25	4	14.1	2.22	25	68	14.2	.03	25	90	13.7	.07					
	30.72	30.30	29.83	50	13	28.2	2.28	50	71	28.4	.05	50	3	27.5	.15					
Diámetro (cm)	15.22	15.24	15.44	75	20	42.2	2.33	75	76	42.6	.08	75	15	41.2	.23					
	15.05	15.18	15.40	100	28	56.3	2.38	100	85	56.8	.14	100	27	55	.31					
	15.01	15.00	15.31	125	38	70.4	2.44	125	94	71	.20	125	40	68.7	.39					
	15.31	15.12	15.38	150	48	84.5	2.51	150	3	85.2	.26	150	53	82.4	.48					
Peso (Kg)	12.13	12.04	12.23	175	60	98.5	2.59	175	14	99.4	.33	175	65	96.2	.56					
	15.11	15.03	15.29	200	75	113	2.69	200	27	114	.41	200	77	110	.64					
	15.39	15.13	15.39	225	91	127	2.79	225	33	128	.45	225	93	124	.74					
	Peso rot.(KN)	368	382	386	250	8	141	2.90	250	53	142	.58	250	10	137	.85				
Tipo de falla	Cabezal Superior	Cabezal Superior	Cabezal	275	30	155	3.05	275	75	156	.73	275	25	151	.95					
	Gráfico de falla				300	53	169	3.20	300	0	170	.89	300	43	165	1.07				
					310	65	175	3.28	310	13	176	.98	310	13	176	.98	310	52	170	1.13
					320	78	180	3.36	320	27	182	1.07	320	27	182	1.07	320	60	176	1.18
330					92	186	3.46	330	39	187	1.15	330	39	187	1.15	330	70	181	1.25	
Observaciones				340	6	191	3.55	340	46	193	1.19	340	81	187	1.32					
				350	19	197	3.63	350	50	199	1.22	350	50	199	1.22	350	92	192	1.39	
				360	33	203	3.72	360	67	204	1.33	360	1	204	1.33	360	1	198	1.45	
				370	77	210	1.40	370	11	203	1.52	370	11	203	1.52	370	11	203	1.52	
380	85	216	1.45	380	21	209	1.58	380	21	209	1.58	380	21	209	1.58					
Diámetro (cm)	15.18	15.12	15.37	Resistencia promedio	212.1Kg/cm ²		±2.30%		f'c	206.3 Kg/cm ²		Alfa=1.2								
Sección(cm ²)	181.02	179.47	185.50	Abscisa y ordenada a origen	-0.01462772		4.3018													
Altura (cm)	30.71	30.18	29.78	Coefficientes	a=50.4318	b=178.755	c=291.46													
Volumen(cm ³)	5558.70	5416.98	5523.26	Ecuación $\sigma =$	50.4318d ³ -178.755d ² +291.46d+4.3018															
Peso unitario	2.182Kg/litro	2.223Kg/litro	2.214Kg/litro	Módulo elasticidad (secante)	230000 Kg/cm ²															
Peso unit. prom.	2.206Kg/litro		±0.92%	Coefficiente por $\sqrt{v}f'c$	16015 $\sqrt{Kg/cm}$															
Esfuerzo rotura	207.2Kg/cm ²	217.0Kg/cm ²	212.1Kg/cm ²	Observaciones:																

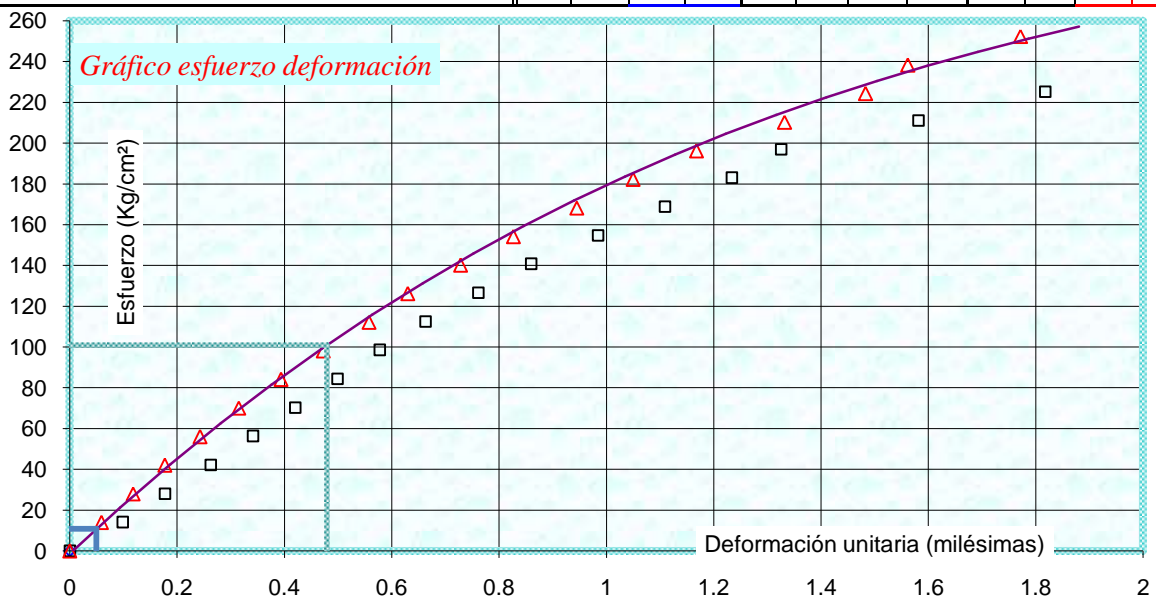


Agua/cemento	0.51	%finos	15%	Edad	7 días	f'c=	206 Kg/cm ²
--------------	------	--------	-----	------	--------	------	------------------------

Gráfico 5.48 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=7 días

Tabla 5.43 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		.51		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm				
Elaboración		Mar 23, Ene		15%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm				
Ensayado		Jul 08, Feb		Edad (días)		14		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²				
												δ milésimas				
Identificación	7K	8K	13K	Id	7K				8K				13K			
Altura (cm)	30.28 30.20 30.38 30.38	30.32 30.42 30.09 30.34	30.29 30.41 30.20 30.30	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	
Díametro (cm)	15.12 15.22 15.31 15.17 15.35 15.23	15.25 15.16 15.18 15.20 15.30 15.10	15.18 15.20 15.24 15.19 15.30 15.18	0	99	0	.00	0	98	0	.00	0	2	0	.00	
Peso (Kg)	12.3	12.09	12.14	25	5.5	14	2.22	25	13	14.1	.10	25	11	14	.06	
Carga rot.(KN)	478	450	467	50	13	28	2.27	50	25	28.2	.18	50	20	28	.12	
Tipo de falla	Corte Convexa	Corte convexa	Corte convexa	75	21	41.9	2.32	75	38	42.2	.26	75	29	42	.18	
Gráfico de falla 				100	29	55.9	2.38	100	50	56.3	.34	100	39	56.1	.24	
				125	37.5	69.9	2.43	125	62	70.4	.42	125	50	70.1	.31	
				150	48	83.9	2.50	150	74	84.5	.50	150	62	84.1	.39	
				175	58	97.9	2.57	175	86	98.5	.58	175	74	98.1	.47	
				200	68	112	2.63	200	99	113	.66	200	87	112	.56	
				225	77	126	2.69	225	114	127	.76	225	98	126	.63	
				250	88	140	2.76	250	129	141	.86	250	113	140	.73	
				275	98.5	154	2.83	275	148	155	.98	275	128	154	.83	
				300	11	168	2.91	300	67	169	1.11	300	46	168	.94	
				325	22.5	182	2.99	325	86	183	1.23	325	62	182	1.05	
				350	36	196	3.08	350	0	197	1.33	350	80	196	1.17	
				375	54.5	210	3.20	375	39	211	1.58	375	5	210	1.33	
				400	75	224	3.33	400	75	225	1.82	400	28	224	1.48	
				425	3	238	3.52	425	29	239	2.17	425	40	238	1.56	
				450	25	252	3.66	450	48	253	2.30	450	72	252	1.77	
			475	45	266	3.79										
Observaciones																
Díametro (cm)	15.23	15.18	15.22													
Sección(cm ²)	182.26	181.02	181.82													
Altura (cm)	30.31	30.29	30.30													
Volumen(cm ³)	5524.15	5483.58	5509.05													
Peso unitario	2.227Kg/litro	2.205Kg/litro	2.204Kg/litro													
Peso unit prom.		2.212Kg/litro	±0.52%													
Esfuerzo rotura	267.3Kg/cm ²	253.4Kg/cm ²	261.8Kg/cm ²													
Resistencia promedio		260.9Kg/cm ²	±2.67%													
f'c		252.4 Kg/cm ²	Alfa=1.2													
Abscisa y ordenada origen		0.005595076	-1.3861													
Coefficientes	a=9.6903	-b=77.09	c=248.1667													
Ecuación $\sigma =$	9.6903d ³ -77.09d ² +248.1667d-1.3861															
Módulo elasticidad (secante)	209000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	13154 $\sqrt{Kg/cm}$															
Observaciones:																

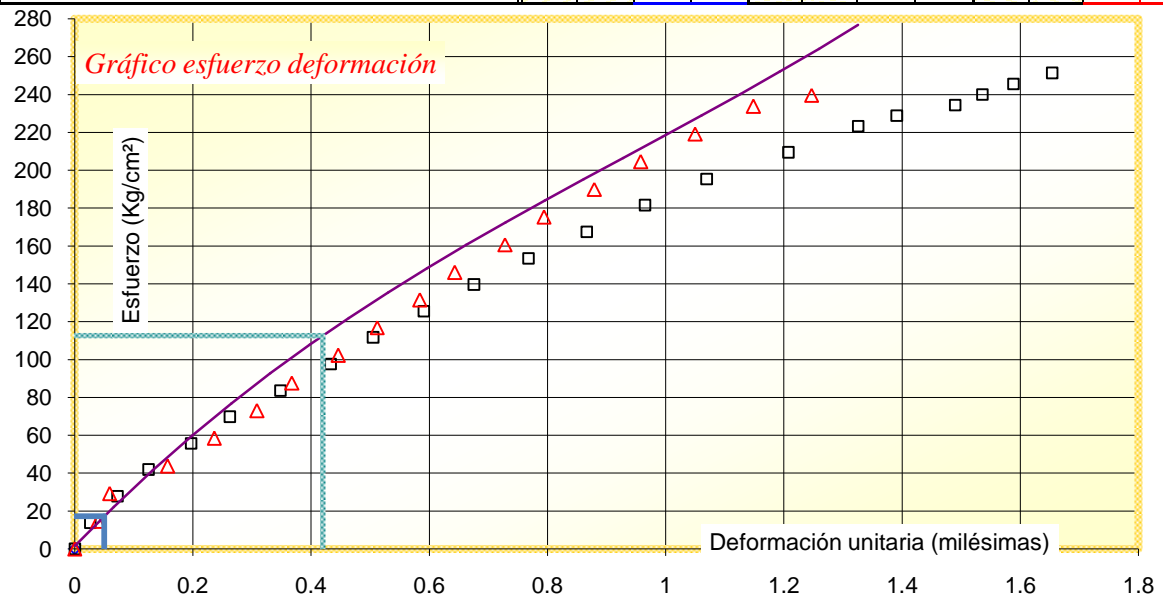


Agua/cemento	0.51	%finos	15	Edad	14 días	f'c=	252 Kg/cm ²
--------------	------	--------	----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.49 σ vs. δ A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=14 días

Tabla 5.44 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C	Unidades de trabajo				Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm							
Elaboración		Mar 23, Ene		% finos	Unidades de carga KN				Unidad de deformación .001 mm							
Ensayado		Mar 20, Feb		Edad (días)	Peso Kg				Dimensión cm							
					σ Kg/cm ²				δ milésimas							
Identificación	2-K	3-K	4-K	Id	2-K				3-K				4-K			
Altura (cm)	30.07 30.19 30.14 30.27	30.42 30.27 30.50 30.31	30.04 29.96 30.00 30.00		Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas
Díametro (cm)	15.22 15.12 15.30 15.01 15.48 15.07	15.28 15.23 15.22 15.30 15.15 15.29	14.92 14.92 14.86 14.91 14.90 14.91	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500	18 23 30 34 48 55 63 70 79 88 95 105 115 122 132 142 155 165 170 170	0 14 28.1 42.1 56.2 70.2 84.3 98.3 112 126 140 154 169 183 197 211 225 239 253 267 281	.00 2.22 2.27 2.29 2.33 2.39 2.43 2.48 2.53 2.59 2.65 2.69 2.76 2.83 2.87 2.94 3.00 3.09 3.15 3.19 3.19	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 410 420 430 440 450	18 22 29 37 48 58 69.8 83.8 97.7 112 126 140 154 168 181 195 209 223 229 235 240 252 260 270	0 .03 .12 .17 .20 .26 .35 .43 .51 .59 .68 .77 .87 .96 1.07 1.21 1.33 1.39 1.49 1.54 1.59 1.65	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 410 420 430 440 450	18 24 27 42 54 65 86 96 107 116 129 139 152 170 181 193 208 205 211 218 224	0 14.6 29.2 43.8 58.4 73 87.7 102 117 131 146 161 175 190 205 219 234 240 245 251 257 263	.00 .04 .06 .16 .24 .31 .37 .45 .51 .58 .64 .73 .79 .88 .96 1.05 1.15 1.25 1.88 1.92 1.97 2.01		
Peso (Kg)	12.12	12.28	11.64													
Carga rot.(KN)	503	544	511													
Tipo de falla	Corte Cóncava	Corte Cóncava	Corte Cóncava													
Gráfico de falla																
Observaciones																
Díametro (cm)	15.20	15.25	14.90													
Sección(cm ²)	181.46	182.53	174.44													
Altura (cm)	30.17	30.38	30.00													
Volumen(cm ³)	5474.15	5544.48	5233.33													
Peso unitario	2.214Kg/litro	2.215Kg/litro	2.224Kg/litro													
Peso unit. prom.			±0.23%													
Esfuerzo rotura	282.6Kg/cm ²	303.8Kg/cm ²	298.6Kg/cm ²													
Resistencia promedio	295.0Kg/cm ²		±3.60%													
f'c	281.7 Kg/cm ²		Alfa=1.2													
Abscisa y ordenada a origen	-0.00451722		1.4666													
Coefficientes	a=58.6737	-b=165.4693	c=323.92													
Ecuación σ=	58.6737d ³ -165.4693d ² +323.92d+1.4666															
Módulo elasticidad (secante)	257000 Kg/cm ²															
Coefficiente por √f'c	15312 √Kg/cm															
Observaciones:																

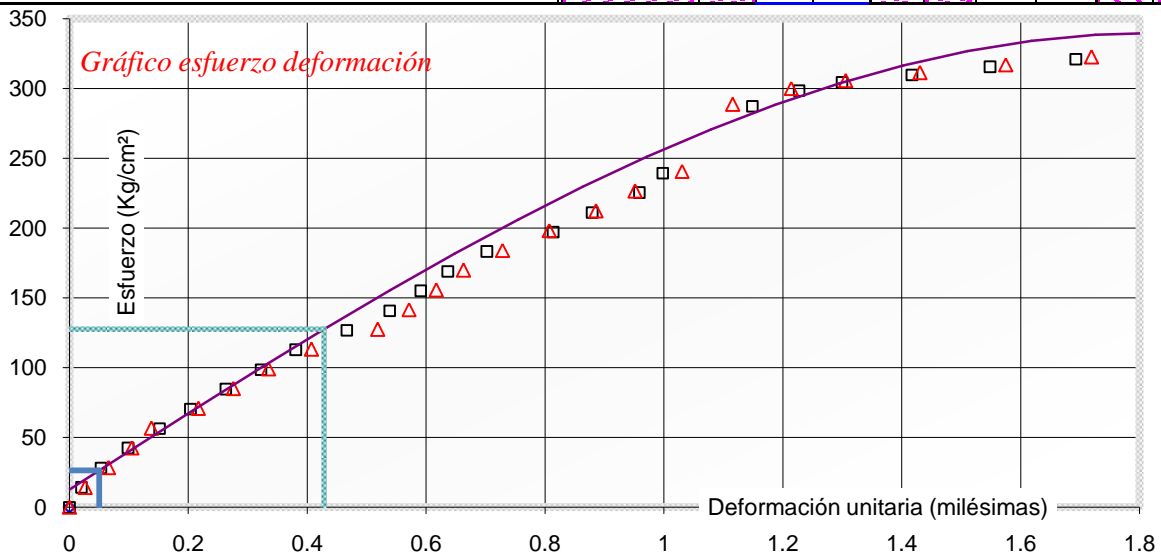


Agua/cemento	0.51	%finos	15%	Edad	28 días	f'c=	282 Kg/cm ²
--------------	------	--------	-----	------	---------	------	------------------------

Gráfico 5.50 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=28 días

Tabla 5.45 Resultados para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C	.51	Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm								
Elaboración Mar 23, Ene				% finos	15%	Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm								
Ensayado Mar 20, Mar				Edad (días)	56	Peso Kg	Dimensión cm	σ Kg/cm ²	δ milésimas							
Identificación	6-K	9-K	14-K	Id	6-K				9-K				14-K			
Altura (cm)	30.48 30.60 30.32 30.36	30.24 30.08 30.26 30.36	30.32 30.28 30.27 30.28		Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Diametro (cm)	15.52 15.44 15.36 15.47 15.42 15.28	15.39 15.09 15.18 15.11 15.18 15.12	15.10 15.18 15.09 15.20 15.29 14.99		0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 400 425 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580	30 35 37 41 46.5 52 59.5 67 73 81 89 98 4 11 20 29 37 46 55 60 65 70 75 79 83 87 91 96 2 9 18 29	0 13.7 27.3 41 54.6 68.3 81.9 95.6 109 123 137 150 164 178 191 205 218 232 246 251 257 262 268 273 279 284 289 295 300 306 311 317	.00 2.22 2.23 2.26 2.30 2.33 2.38 2.43 2.47 2.52 2.58 2.64 2.67 2.72 2.78 2.84 2.89 2.95 3.01 3.04 3.07 3.11 3.14 3.17 3.19 3.22 3.25 3.28 3.32 3.36 3.42 3.49	0 39 42 47 54 62 70 79 88 97 101 114 127 141 155 169 183 197 211 225 239 250 262 275 287 299 304 310 315 321	.00 .02 .05 .10 .15 .20 .26 .32 .38 .47 .54 .59 .64 .70 .81 .88 .96 1.00 1.15 1.23 1.30 1.42 1.55 1.69	0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 530 540 550 560 570 580	74 78 84 90 95 7 16 25 36 53 61 68 75 85 97 9 19 31 44 59 73 92 14 36 55	0 14.2 28.3 42.5 56.6 70.8 84.9 99.1 113 127 142 156 170 184 198 212 226 241 289 300 306 311 317 323 328	.00 .03 .07 .10 .14 .22 .28 .33 .41 .52 .57 .62 .66 .73 .81 .89 .95 1.03 1.12 1.21 1.31 1.43 1.57 1.72 1.84		
Peso (Kg)	12.536	12.11	12.05													
Carga rot.(KN)	585	603	592													
Tipo de falla	Cabezal, no se Dejo fallar	Corte Convexa	Corte Convexa													
Gráfico de falla																
Observaciones		Explotó sin desprenderse														
Diámetro (cm)	15.42	15.18	15.14													
Sección(cm ²)	186.63	180.94	180.07													
Altura (cm)	30.44	30.24	30.29													
Volumen(cm ³)	5680.96	5470.76	5453.82													
Peso unitario	2.207 Kg/litro	2.214 Kg/litro	2.209 Kg/litro													
P.U.promedio	2.210 Kg/litro ±0.16%															
Esfuerzo rotura	319.5 Kg/cm ²	339.7 Kg/cm ²	335.1 Kg/cm ²													
Resistencia promedio	331.5 Kg/cm ² ±3.04%															
f'c	318.8 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	-0.045492161 12.5631															
Coefficientes	-a=25.371	-b=6.6423	c=275.91													
Ecuación $\sigma =$	$-25.371d^3 - 6.6423d^2 + 275.91d + 12.5631$															
Módulo elasticidad (secante)	267000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	14955 $\sqrt{Kg/cm}$															
Observaciones:																

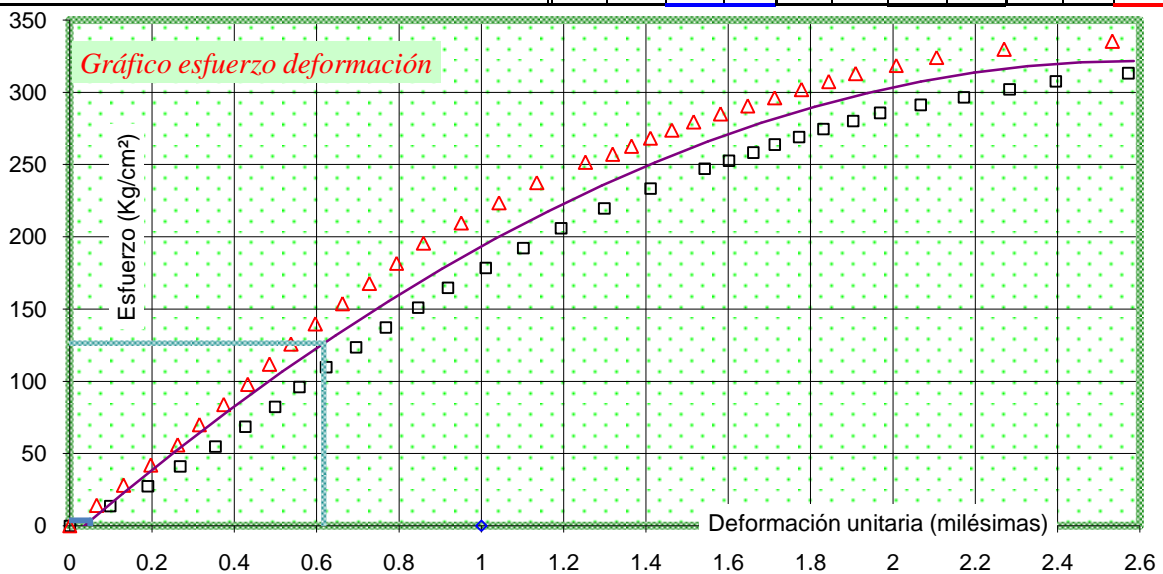


Agua/cemento	0.51	%material fino	15%	56 días	f'c= 319 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	---------	-----------------------------

Gráfico 5.51 σ vs. δ para A/C=0.51, %Material fino=15% a edad=56 días

Tabla 5.46 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=7 días

Compresión de cilindros				A/C .38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm								
Elaboración		Vie 09, Feb		15%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm								
Ensayado		Vie 16, Feb		Edad (días) 7		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas				
Identificación	10-L	11-L	12-L	Id	10-L		11-L		12-L							
Altura (cm)	30.52 30.33 30.74 30.70	30.75 30.83 30.72 30.84	30.44 30.49 30.52 30.32		Carga KN	Def .001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	15.22 15.15 15.26 15.15 15.20 15.12	15.45 15.33 15.34 15.44 15.38 15.29	15.33 15.16 15.26 15.19 15.24 15.26	.00	0	15	0	.00	0	4	0	.00	0	4	0	.00
Peso (Kg)	12.13	12.49	12.09		25	30	13.7	.10	25	14	14	.07	25	14	14	.07
Carga rot.(KN)	578	580	603		50	44	27.5	.19	50	24	27.9	.13	50	24	27.9	.13
Tipo de falla	Corte plana explosiva	Corte explosiva	Corte plana Explosiva		75	56	41.2	.27	75	34	41.9	.20	75	34	41.9	.20
Gráfico de falla					100	69	54.9	.35	100	44	55.9	.26	100	44	55.9	.26
					125	80	68.7	.43	125	52	69.9	.31	125	52	69.9	.31
					150	91	82.4	.50	150	61	83.8	.37	150	61	83.8	.37
					175	100	96.1	.56	175	70	97.8	.43	175	70	97.8	.43
					200	10	110	.62	200	78	112	.49	200	78	112	.49
					225	21	124	.70	225	86	126	.54	225	86	126	.54
					250	32	137	.77	250	95	140	.60	250	95	140	.60
					275	44	151	.85	275	5	154	.66	275	5	154	.66
					300	55	165	.92	300	15	168	.73	300	15	168	.73
					325	69	179	1.01	325	25	182	.79	325	25	182	.79
	350	83	192	1.10	350	35	196	.86	350	35	196	.86				
	375	97	206	1.19	375	49	210	.95	375	49	210	.95				
	400	13	220	1.30	400	63	224	1.04	400	63	224	1.04				
	425	30	233	1.41	425	77	237	1.14	425	77	237	1.14				
	450	50	247	1.54	450	95	251	1.25	450	95	251	1.25				
	460	59	253	1.60	460	5	257	1.32	460	5	257	1.32				
	470	68	258	1.66	470	12	263	1.36	470	12	263	1.36				
	480	76	264	1.71	480	19	268	1.41	480	19	268	1.41				
	490	85	269	1.77	490	27	274	1.46	490	27	274	1.46				
	500	94	275	1.83	500	35	279	1.52	500	35	279	1.52				
	510	5	280	1.90	510	45	285	1.58	510	45	285	1.58				
	520	15	286	1.97	520	55	291	1.65	520	55	291	1.65				
	530	30	291	2.07	530	65	296	1.71	530	65	296	1.71				
	540	46	297	2.17	540	75	302	1.78	540	75	302	1.78				
	550	63	302	2.28	550	85	307	1.84	550	85	307	1.84				
	560	80	308	2.40	560	95	313	1.91	560	95	313	1.91				
	570	7	313	2.57	570	10	319	2.01	570	10	319	2.01				
									580	25	324	2.11				
									590	50	330	2.27				
									600	90	335	2.53				
Observaciones																
Díametro (cm)	15.18	15.37	15.24													
Sección(cm ²)	181.06	185.58	182.41													
Altura (cm)	30.57	30.79	30.44													
Volumen(cm ³)	5535.48	5713.09	5553.16													
Peso unitario	2.191 Kg/litro	2.186 Kg/litro	2.177 Kg/litro													
P.U.promedio	2.185 Kg/litro ±0.32%															
Esfuerzo rotura	325.4 Kg/cm ²	318.6 Kg/cm ²	337.0 Kg/cm ²													
Resistencia promedio	327.0 Kg/cm ² ±2.81%															
f'c	315.8 Kg/cm ² Alfa=1.2															
Abscisa y ordenada a origen	0.035130727 -8.5263															
Coefficientes	-a=1.6711	-b=40.73	c=244.135													
Ecuación $\sigma =$	-1.6711d ³ +40.73d ² +244.135d-8.5263															
Módulo elasticidad (secante)	216000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	12154 $\sqrt{Kg/cm}$															
Observaciones:																

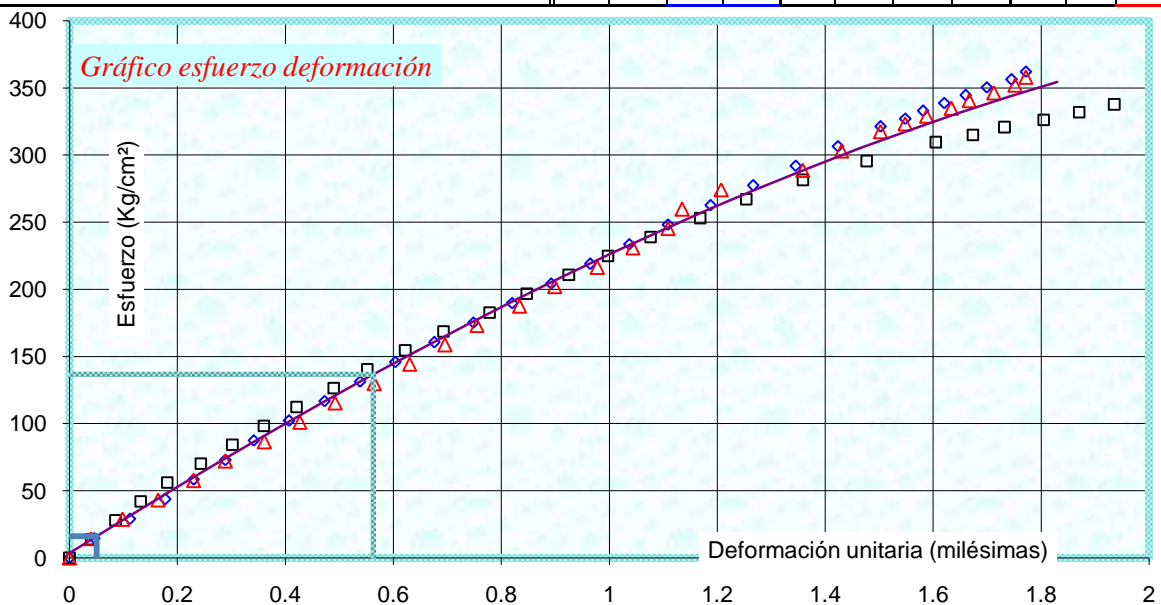


Agua/cemento	0.38	%material fino	15%	7 días	f'c= 316 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	--------	-----------------------------

Gráfico 5.52 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=7 días

Tabla 5.47 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=14 días

Compresión de cilindros				A/C		.38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm				
Elaboración Vie 09, Feb				% finos		15%		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación		.001 mm		
Ensayado Vie 23, Feb				Edad (días)		14		Peso Kg		Dimensión cm		σ Kg/cm ²		δ milésimas		
Identificación	L7	L8	L1	Id	L7				L8				L1			
Altura (cm)	30.04 30.02 29.86 29.85	30.53 30.59 30.37 30.60	29.90 30.01 29.85 30.02		Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	δ milésimas
Díametro (cm)	14.92	14.92	14.90	0	48	0	.00	0	29	0	.00	0	79	0	.00	
	14.90	15.38	15.03	25	55	14.6	.05	25	35	14.1	.04	25	85	14.4	.04	
	14.91	15.34	15.08	50	65	29.2	.11	50	42	28.1	.09	50	94	28.9	.10	
	14.89	15.04	14.98	75	75	43.8	.18	75	49	42.2	.13	75	4	43.3	.16	
	14.92	15.27	15.01	100	83	58.4	.23	100	56.5	56.3	.18	100	14	57.7	.23	
	14.91	15.17	14.97	125	92	73	.29	125	66	70.3	.24	125	23	72.2	.29	
Peso (Kg)	11.43	12.11	11.55	150	0	87.6	.34	150	75	84.4	.30	150	34	86.6	.36	
Carga rot.(KN)	628.2	612	614.3	175	10	102	.41	175	83.8	98.5	.36	175	44	101	.43	
Tipo de falla	Explosiva corte convexa	Explosiva corte inferior	Explosiv corte plana	200	20	117	.47	200	93	113	.42	200	54	115	.49	
				225	30	131	.54	225	3.5	127	.49	225	65	130	.56	
				250	40	146	.60	250	13	141	.55	250	75	144	.63	
				275	51	161	.68	275	23.8	155	.62	275	85	159	.70	
				300	62	175	.75	300	34.5	169	.69	300	94	173	.75	
				325	73	190	.82	325	47.5	183	.78	325	6	188	.83	
				350	84	204	.89	350	58	197	.85	350	16	202	.90	
				375	95	219	.96	375	70	211	.93	375	28	216	.98	
				400	6	234	1.04	400	81	225	1.00	400	38	231	1.04	
				425	17	248	1.11	425	93	239	1.08	425	48	245	1.11	
				450	29	263	1.19	450	7	253	1.17	450	52	260	1.14	
				475	41	277	1.27	475	20	267	1.25	475	63	274	1.21	
				500	53	292	1.35	500	36	281	1.36	500	86	289	1.36	
				525	65	307	1.42	525	54	295	1.48	525	97	303	1.43	
				550	77	321	1.50	550	73.5	310	1.60	550	8	317	1.50	
				560	84	327	1.55	560	84	315	1.67	560	15	323	1.55	
				570	89	333	1.58	570	93	321	1.73	570	21	329	1.59	
				580	95	339	1.62	580	4	326	1.80	580	28	335	1.63	
				590	1	345	1.66	590	14	332	1.87	590	33	341	1.67	
				600	7	350	1.70	600	24	338	1.94	600	40	346	1.71	
				610	14	356	1.75	610	35.5	343	2.01	610	46	352	1.75	
				620	18	362	1.77					620	49	358	1.77	
Observaciones																
Gráfico de falla																
Diámetro (cm)	14.91	15.19	15.00													
Sección(cm ²)	174.56	181.14	176.60													
Altura (cm)	29.94	30.52	29.95													
Volumen(cm ³)	5226.80	5528.85	5288.19													
Peso unitario P.U.promedio	2.187 Kg/litro	2.190 Kg/litro	2.184 Kg/litro													
Esfuerzo rotura	366.8 Kg/cm ²	344.4 Kg/cm ²	354.6 Kg/cm ²													
Resistencia promedio	355.3 Kg/cm ² ±3.16%															
f'c	341.8 Kg/cm ²															
Alfa	1.2															
Abscisa y ordenada a origen	-0.014183381															
3.5871																
Coefficientes	-a=3.8099	-b=26.2793	c=252.5367													
Ecuación $\sigma =$	$-3.8099d^3 - 26.2793d^2 + 252.5367d + 3.5871$															
Módulo elasticidad (secante)	235000 Kg/cm ²															
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	12711 $\sqrt{\text{Kg/cm}}$															
Observaciones:																

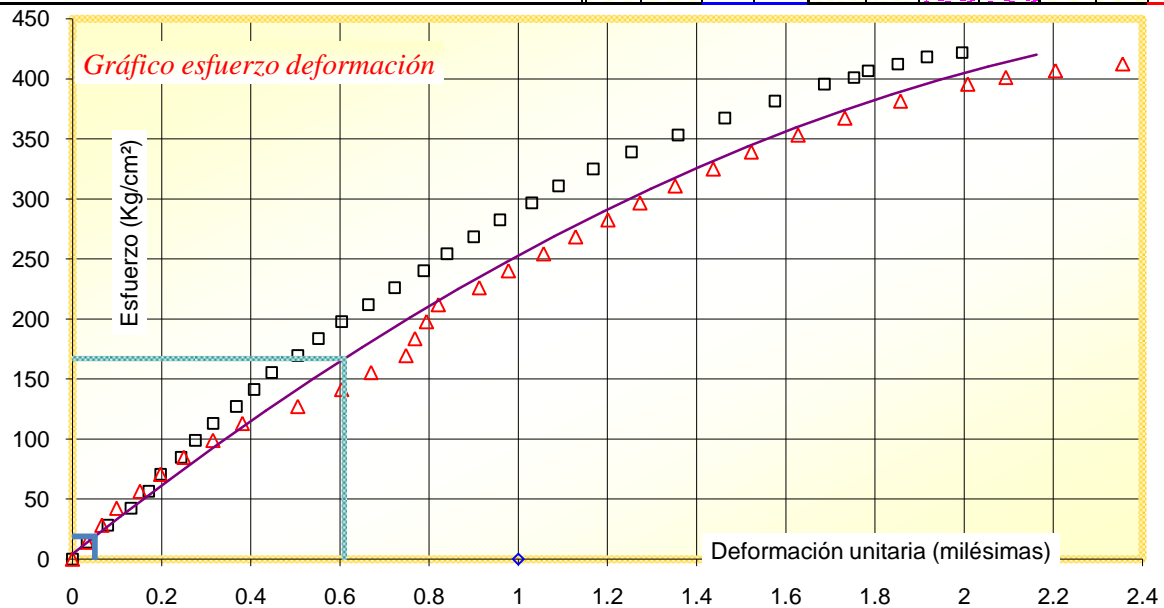


Agua/cemento	0.38	%material fino	15%	14 días	f'c= 342 Kg/cm ²
--------------	------	----------------	-----	---------	-----------------------------

Gráfico 5.53 σ vs. δ A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=14 días

Tabla 5.48 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=28 días

Compresión de cilindros				A/C		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro		15.2 cm				
Elaboración		Vie 09, Feb		.38		Unidades de carga		KN		Unidad de deformación				
Ensayado		Vie 09, Mar		15%		Peso		Kg		Dimensión				
				Edad (días)		28		cm		σ Kg/cm ²				
										δ milésimas				
Identificación	L2	L3	L5	Id	L2		L3		L5					
Altura (cm)	30.45 30.36 30.33 30.51	30.68 30.60 30.59 30.61	30.54 30.17 30.42 30.18	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas			
Díametro (cm)	15.24 15.00 15.25 15.15 15.20 15.10	15.31 14.96 15.15 15.25 15.20 15.07	15.38 15.10 15.23 15.09 15.12 15.02				.00	0 25 50 75 100 125	28 33 40 48 54 58	0 14.1 28.2 42.4 56.5 70.6	.00 .03 .08 .13 .17 .20			
Peso (Kg)	12.098	12.086	11.992					150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 575 600 625 650 675 700 710 720 730 740 747	65 70 84 90 96 105 113 122 141 184 198 212 226 240 254 268 282 297 311 325 339 353 367 381 395 401 407 412 418 422	.24 .28 .31 .37 .41 .45 .51 .55 .60 .66 .72 .79 .84 .90 .96 1.03 1.09 1.17 1.25 1.36 1.46 1.57 1.69 1.75 1.85 1.92 1.99	25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 575 600 625 650 675 700 710 720 730 740 747	86 91 96 4 11 19 29 39 58 73 83 95 98 2 6 20 30 42 53 64 75 87 0 13 29 45 64 87 0 401 407 412 418 418	0 14.1 28.2 42.4 56.5 70.6 84.7 98.9 113 127 141 155 169 184 198 212 226 240 254 268 282 297 311 325 339 353 367 381 395 401 407 412 418 418	.00 .03 .07 .10 .15 .20 .25 .31 .38 .51 .60 .67 .75 .77 .79 .82 .91 .98 1.06 1.13 1.20 1.27 1.35 1.44 1.52 1.63 1.73 1.86 2.01 2.09 2.20 2.36 2.76
Carga rot.(KN)	751.5	748.11	740.07											
Tipo de falla	cabezal inferior	Cabezal conica	Cabezal											
Gráfico de falla														
Observaciones														
Díametro (cm)	15.16	15.16	15.16											
Sección(cm ²)	180.43	180.43	180.43											
Altura (cm)	30.41	30.62	30.33											
Volumen(cm ³)	5487.18	5524.62	5471.85											
Peso unitario	2.205 Kg/litro	2.188 Kg/litro	2.192 Kg/litro											
P.U.promedio	2.195 Kg/litro ±0.39%													
Esfuerzo rotura	424.6 Kg/cm ²	422.7 Kg/cm ²	418.1 Kg/cm ²											
Resistencia promedio	421.8 Kg/cm ² ±0.77%													
f'c	417.8 Kg/cm ²													
Alfa	1.2													
Abscisa y ordenada a origen	-0.014932938													
Coefficientes	-a=1.0467	-b=45.1731	c=294.8											
Ecuación $\sigma =$	-1.0467d ³ -45.1731d ² +294.8d+4.4123													
Módulo elasticidad (secante)	264000 Kg/cm ²													
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	12916 $\sqrt{Kg/cm}$													
Observaciones:														

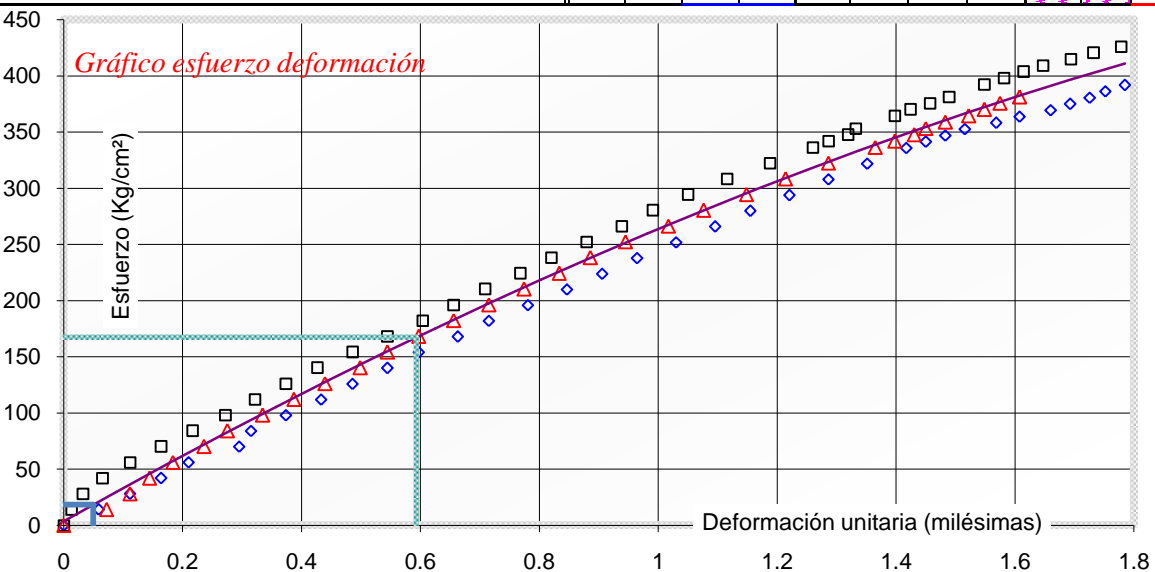


Agua/cemento	0.38	% finos	15%	28 días	f'c= 418 Kg/cm ²
--------------	------	---------	-----	---------	-----------------------------

Gráfico 5.54 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=28 días

Tabla 5.49 Resultados para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=56 días

Compresión de cilindros				A/C .38		Unidades de trabajo		Distancia apoyos deformimetro 15.2 cm								
Elaboración Vie 09, Feb				% finos 15%		Unidades de carga KN		Unidad de deformación .001 mm								
Ensayado Vie 06, Abr				Edad (días) 56		Peso Kg		Dimensión cm								
						σ Kg/cm²		δ milésimas								
Identificación	L4	L6	L9	Id	L4				L6				L9			
Altura (cm)	30.31 30.22 30.26 30.30	30.60 30.72 30.57 30.75	30.65 30.54 30.48 30.48	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	Carga KN	Def.001mm	Esfuerzo Kg/cm ²	d milésimas	
Díametro (cm)	15.28 15.08 15.31 15.00 15.41 15.30	15.28 15.12 15.13 15.14 15.15 15.10	15.17 15.24 15.18 15.27 15.18 15.25	0 25 50 75 100 125 150 175	0 9 17 25 32 45 57	0 14 28 42 56 69.9 83.9 97.9	.00 .06 .11 .16 .21 .30 .31 .37	0 25 50 75 100 125 150 175	42 44 47 52 59 67 83.5	0 14 28 42 56.1 70.1 84.1 98.1	.00 .01 .03 .07 .11 .16 .22 .27	0 25 50 75 100 125 150 175	71 82 88 93 99 107 113 122	0 14 28 42 56.1 70.1 84.1 98.1	.00 .07 .11 .14 .18 .24 .28 .33	
Peso (Kg)	11.98	12.06	12.19	200	66	112	.43	200	91	112	.32	200	30	112	.39	
Carga rot.(KN)	759.03	773	826	225	74	126	.49	225	99	126	.37	225	38	126	.44	
Tipo de falla	Escala de prensa insuficiente	Escala de prensa insuficiente	4 conos convexos y un fragmento	250	83	140	.54	250	7	140	.43	250	47	140	.50	
Gráfico de falla				275	91	154	.60	275	16	154	.49	275	54	154	.54	
				300	1	168	.66	300	25	168	.54	300	62	168	.60	
				325	9	182	.72	325	34	182	.60	325	71	182	.66	
				350	19	196	.78	350	42	196	.66	350	80	196	.72	
				375	29	210	.85	375	50	210	.71	375	89	210	.77	
				400	38	224	.91	400	59	224	.77	400	98	224	.83	
				425	47	238	.96	425	67	238	.82	425	6	238	.89	
				450	57	252	1.03	450	76	252	.88	450	15	252	.94	
				475	67	266	1.10	475	85	266	.94	475	26	266	1.02	
				500	76	280	1.15	500	93	280	.99	500	35	280	1.08	
				525	86	294	1.22	525	2	294	1.05	525	46	294	1.15	
				550	96	308	1.29	550	12	308	1.12	550	56	308	1.21	
				575	6	322	1.35	575	23	322	1.19	575	67	322	1.29	
				600	16	336	1.42	600	34	336	1.26	600	79	336	1.36	
				Díametro (cm)	15.23	15.15	15.22	610	21	341	1.45	610	38	342	1.29	610
Sección(cm ²)	182.18	180.35	181.82	620	26	347	1.48	620	43	348	1.32	620	89	348	1.43	
Altura (cm)	30.27	30.66	30.54	630	31	353	1.52	630	45	353	1.33	630	92	353	1.45	
Volumen(cm ³)	5514.90	5529.40	5552.23	640	39	358	1.57	650	55	364	1.40	640	97	359	1.48	
Peso unitario P.U.promedio	2.172 Kg/litro	2.181 Kg/litro	2.196 Kg/litro	650	45	364	1.61	660	59	370	1.42	650	3	364	1.52	
		2.183 Kg/litro	$\pm 0.53%$	660	53	369	1.66	670	64	376	1.46	660	7	370	1.55	
Esfuerzo rotura	424.7 Kg/cm ²	436.9 Kg/cm ²	463.1 Kg/cm ²	670	58	375	1.69	680	69	381	1.49	670	11	376	1.57	
Resistencia promedio	441.6 Kg/cm ² $\pm 4.35%$			680	63	380	1.73	700	78	392	1.55	680	16	381	1.61	
f'c	418.0 Kg/cm² Alfa=1.2			690	67	386	1.75	710	83	398	1.58					
Abscisa y ordenada a origen	-0.011978735			700	72	392	1.78	720	88	404	1.61					
Coefficientes	-a=1.6459 -b=36.073 c=297.83			710	77	397	1.82	730	93	409	1.65					
Ecuación $\sigma =$	-1.6459d ³ -36.073d ² +297.83d+3.5728			720	81	403	1.84	740	0.1	415	1.69					
Módulo elasticidad (secante)	273000 Kg/cm²			730	85	408	1.87	750	6	420	1.73					
Coefficiente por $\sqrt{f'c}$	13352 $\sqrt{Kg/cm}$			740	89	414	1.90	760	13	426	1.78					
Observaciones:				750	91	420	1.91	770	23	432	1.84					



Agua/cemento	0.38	% finos	15%	56 días	f'c= 418 Kg/cm ²
--------------	------	---------	-----	---------	-----------------------------

Gráfico 5.55 σ vs. δ para A/C=0.38, %Material fino=15% a edad=56 días

5.4. Flexión de viguetas

“La resistencia a la flexión es una forma de medir la resistencia a tensión del hormigón. El ensayo establece el módulo de ruptura (MR), que representa el esfuerzo a flexión de una vigueta de 15x15 cm de sección, con una luz de por lo menos 3 veces su altura (>45 cm). Los métodos de ensayo de acuerdo a la carga aplicada son:

- ASTM C293 o AASHTO T177 en el que se aplica una carga en el centro, nos dará valores más altos de módulo de ruptura (también llamado módulo de flexión), y el esfuerzo máximo estará presente solo en el centro de la viga.
- ASTM C78 para dos cargas, aplicadas cada una a un tercio de la luz de la viga, arrojará valores hasta 15% menores de MR que el método anterior y el esfuerzo máximo estará dentro del tercio medio de la viga.

El módulo de ruptura suele estar en el orden de 10 a 20% del esfuerzo de compresión, dependiendo principalmente del tipo, tamaño y volumen del agregado grueso. La razón de realizar este ensayo se da principalmente para analizar elementos no armados, como es el caso de pavimentos rígidos.”(National Ready Mixed Concrete Association, 2006)

Para nuestros ensayos nos acogimos al método ASTM C78, siendo el montaje del aparato como se ilustra a continuación:

Foto 5.3 Montaje de apoyos y carga para ensayo de flexión



Similar a lo ilustrado, pusimos el primer apoyo a 5cm del extremo de la viga, la primera carga a 15cm más hacia el centro y así simétricamente. Sin embargo, siendo la vigueta de 55cm de longitud, la norma permite colocar el primer apoyo a no menos de 2.5cm del extremo de la viga, si así lo hubiéramos hecho la distribución hubiera quedado en 3.5cm+3x16cm+3.5cm, que resulta adecuado para este ensayo.

“Los ensayos de flexión son extremadamente sensibles a las condiciones de preparación, manejo y curado. Si una vigueta se seca antes del ensayo, arrojará valores menores de MR, porque un corto período de secado puede producir una fuerte caída de resistencia.” (National Ready Mixed Concrete Association, 2006). Este inconveniente no lo conocíamos cuando realizamos los ensayos, y de hecho secamos con toalla las probetas al momento de su preparación, lo que pudo provocar resultados más bajos de módulo resistente.

Debido a que los moldes presentaron un ligero abombamiento en sus paredes laterales, medimos su ancho tanto en los dos extremos como en su parte central. Asimismo su altura fue tomada en estos tres puntos, para contrarrestar posibles desviaciones de la horizontal durante el endurecimiento del hormigón. Esto nos permite calcular con mayor precisión la sección resistente, su volumen y densidad.

Realizamos un formato de hoja de datos, el mismo que nos sirve tanto para anotar las dimensiones, peso, carga de rotura y demás datos como para hacer el cálculo de las propiedades mecánicas resultantes. En los especímenes fallados se observó también el porcentaje de ripios rotos, observando 10 o 20 ripios, a los que se les comparó con sus correspondientes en la otra cara, para conocer si se rompieron o se separaron por adherencia.

A continuación presentamos las instrucciones, el formato y los resultados obtenidos en este ensayo.

Gráfico 5.56 Descripción para el dimensionamiento de vigueta

Las fechas se copian automáticamente de la hoja de rotura de cilindros a compresión a los 28 días

Elaboración Martes, 14 Noviembre
 Ensayado Martes, 12 Diciembre

Agua/cemento .64
 % Material fino 0%
 Edad (días) 28

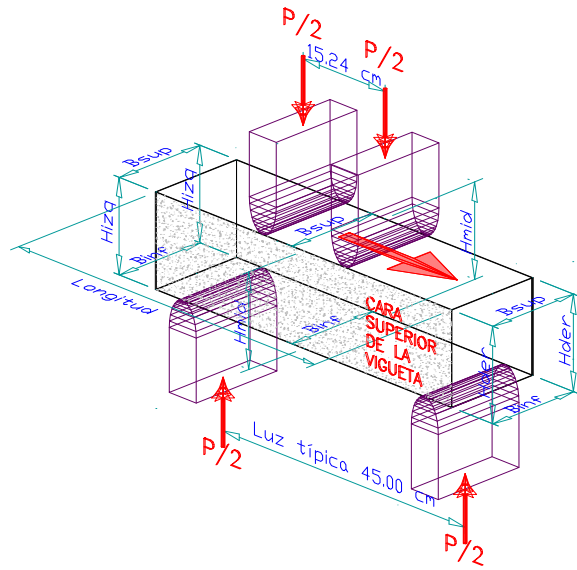


Tabla 5.50 Indicaciones para dimensionamiento

Identificación de vigueta		1	2	3			
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.13	15.26	15.92			
	mid	15.16	15.26	16.02			
	der	15.16	15.31	16.12			
Ancho, Binf (cm)	izq	15.14	15.18	15.67			
	mid	15.04	15.25	15.79			
	der	15.05	15.32	15.65			
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.19	15.29	15.70			
	mid	15.13	15.14	15.71			
	der	15.12	15.13	15.80			
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.17	15.23	15.73			
	mid	15.03	15.05	15.70			
	der	15.12	15.18	15.64			
Longitud (cm)		60.00	60.00	60.00			
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]						
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]						
Peso (Kg)		26.85	26.95	29.20			
Carga máxima (KN)		12.02	12.176	15			
Porcentaje de ripios rotos		40%	40%	40%			
Longitud promedio segmento (cm)							
Observaciones							
Altura central promedio (cm)		15.15	15.20	15.87			
Ancho central promedio (cm)		15.04	15.15	15.75			
Sección central (cm²)		227.7	230.3	249.8			
Inercia (cm 4)		4352	4434	5239			
Volumen (cm³)		13717	13893	14954			
Peso unitario (Kg/litro)		1.957	1.940	1.953			
Momento flector (Kgxcm)		9116	9234	11376			
Módulo de flexión (Kg/cm²)		15.861	15.829	17.224			
Módulo promedio (Kg/cm²)			16.30	±4.28%			
Módulo característico (Kg/cm²)	Resumen de resultados		15.349	Alfa=1.2			
A/C	0.64	%material fino	0%	Edad días	28	MR(Kg/cm²)	15.35

Tabla 5.51 Resultados flexión para A/C=0.64, %Material fino=0%

Identificación de vigueta		1	2	3
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.13	15.26	15.92
	mid	15.16	15.26	16.02
	der	15.16	15.31	16.12
Ancho, Binf (cm)	izq	15.14	15.18	15.67
	mid	15.04	15.25	15.79
	der	15.05	15.32	15.65
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.19	15.29	15.70
	mid	15.13	15.14	15.71
	der	15.12	15.13	15.80
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.17	15.23	15.73
	mid	15.03	15.05	15.70
	der	15.12	15.18	15.64
Longitud (cm)		54.85	55.03	55.10
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		26.85	26.95	29.20
Carga máxima (KN)		12.02	12.18	14.20
Porcentaje de ripios rotos		40%	40%	40%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.15	15.20	15.87
Ancho central promedio (cm)		15.04	15.15	15.75
Sección central (cm ²)		227.7	230.3	249.8
Inercia (cm ⁴)		4352	4434	5239
Volumen (cm ³)		12539	12742	13733
Peso unitario (Kg/litro)		2.141	2.115	2.126
Momento flector (Kgxcn)		9116	9234	10769
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		15.861	15.829	16.305
Módulo promedio (Kg/cm ²)			16.00	±1.49%
Módulo característico (Kg/cm ²)			15.679	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	0%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	15.68
-----	------	----------------	----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.52 Resultados flexión para A/C=0.51, %Material fino=0%

Identificación de vigueta		NB1	NB2	NB3
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.15	15.34	15.71
	mid	15.16	15.30	15.76
	der	15.17	15.26	15.77
Ancho, Binf (cm)	izq	15.14	15.18	15.67
	mid	15.04	15.25	15.79
	der	15.05	15.32	15.65
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.19	15.29	15.70
	mid	15.13	15.14	15.71
	der	15.12	15.13	15.80
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.19	15.26	15.78
	mid	15.24	15.19	15.76
	der	15.18	15.21	15.82
Longitud (cm)		54.60	54.90	55.10
		54.65	54.95	55.04
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		27.62	28.04	30.10
Carga máxima (KN)		33.31	33.72	37.68
Porcentaje de ripios rotos		50%	50%	60%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.15	15.22	15.74
Ancho central promedio (cm)		15.14	15.22	15.78
Sección central (cm ²)		229.3	231.6	248.2
Inercia (cm ⁴)		4383	4472	5121
Volumen (cm ³)		12532	12755	13649
Peso unitario (Kg/litro)		2.204	2.198	2.205
Momento flector (Kg x cm)		25263	25574	28577
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		43.648	43.521	43.900
Módulo promedio (Kg/cm ²)			43.69	±0.43%
Módulo característico (Kg/cm ²)			43.458	Alfa=1.2

A/C 0.51	%material fino 0%	Edad (días) 28	MR(Kg/cm ²) 43.46
----------	-------------------	----------------	-------------------------------

Tabla 5.53 Resultados flexión para A/C=0.38, %Material fino=0%

Identificación de vigueta		1NC	2NC	3NC
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.10	14.80	14.98
	mid	15.14	14.70	15.01
	der	15.12	14.90	15.00
Ancho, Binf (cm)	izq	15.28	15.31	15.48
	mid	15.25	15.26	15.12
	der	15.24	15.28	15.23
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.14	14.80	14.99
	mid	15.13	14.70	15.02
	der	15.12	14.90	15.03
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.52	14.89	15.64
	mid	15.50	14.68	15.40
	der	15.48	14.98	15.39
Longitud (cm)		55.00	55.10	54.70
		54.99	54.99	54.60
		55.00	55.00	54.98
		54.98	55.10	55.00
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		27.85	27.12	27.66
Carga máxima (KN)		42.263	39.99	46.99
Porcentaje de ripios rotos		70%	50%	60%
Longitud promedio segmento (cm)		25	24	28
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.14	14.70	15.02
Ancho central promedio (cm)		15.38	14.97	15.26
Sección central (cm ²)		232.7	220.1	229.1
Inercia (cm ⁴)		4442	3963	4305
Volumen (cm ³)		12791	12275	12648
Peso unitario (Kg/litro)		2.177	2.209	2.187
Momento flector (Kg x cm)		32053	30329	35638
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		54.605	56.254	62.152
Módulo promedio (Kg/cm ²)			57.67	±6.54%
Módulo característico (Kg/cm ²)			52.909	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	0%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	52.91
-----	------	----------------	----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.54 Resultados flexión para A/C=0.64, %Material fino=5%

Identificación de vigueta		1G	2G	3G
Altura en cara superior, h (cm)	izq	14.95	14.86	14.82
	mid	14.83	14.61	14.84
	der	14.84	14.80	14.81
Ancho, Binf (cm)	izq	14.85	15.10	14.91
	mid	14.97	15.30	15.11
	der	14.90	15.25	14.99
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.30	15.69	15.33
	mid	15.22	15.89	15.18
	der	15.07	14.92	15.21
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.28	15.20	15.22
	mid	15.25	15.23	15.20
	der	15.27	15.25	15.24
Longitud (cm)		54.90	54.90	55.00
		55.10	54.90	55.10
		55.00	54.60	55.10
		55.00	54.60	55.00
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		27.55	28.10	27.50
Carga máxima (KN)		21.86	25.04	22.6
Porcentaje de ripios rotos		30%	50%	40%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.03	15.25	15.01
Ancho central promedio (cm)		15.11	15.27	15.16
Sección central (cm ²)		227.0	232.8	227.5
Inercia (cm ⁴)		4271	4512	4271
Volumen (cm ³)		12476	12608	12505
Peso unitario (Kg/litro)		2.208	2.229	2.199
Momento flector (Kg x cm)		16579	18991	17140
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		29.162	32.096	30.119
Módulo promedio (Kg/cm ²)			30.46	±4.82%
Módulo característico (Kg/cm ²)			28.663	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	5%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	28.66
-----	------	----------------	----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.55 Resultados flexión para A/C=0.51, %Material fino=5%

Identificación de vigueta		E7	E8	E9
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.37	15.94	15.35
	mid	15.34	15.07	15.33
	der	15.35	15.63	15.29
Ancho, Binf (cm)	izq	14.95	15.50	14.98
	mid	14.86	15.44	15.10
	der	14.91	15.48	14.99
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.25	15.30	15.14
	mid	15.08	15.61	15.18
	der	15.12	15.42	15.15
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.00	15.25	14.86
	mid	14.88	15.53	15.30
	der	14.83	15.33	15.02
Longitud (cm)		55.00	54.70	55.10
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		27.36	28.46	27.74
Carga máxima (KN)		27.00	29.20	22.00
Porcentaje de ripios rotos		60%	50%	50%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.21	15.34	15.26
Ancho central promedio (cm)		14.87	15.49	15.20
Sección central (cm ²)		226.2	237.5	231.9
Inercia (cm ⁴)		4360	4658	4497
Volumen (cm ³)		12503	13071	12631
Peso unitario (Kg/litro)		2.188	2.177	2.196
Momento flector (Kg x cm)		20477	22146	16685
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		35.715	36.465	28.302
Módulo promedio (Kg/cm ²)			33.49	±12.19%
Módulo característico (Kg/cm ²)			28.079	Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	5%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	28.08
-----	------	----------------	----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.56 Resultados flexión para A/C=0.38, %Material fino=5%

Identificación de vigueta		1NF	2NF	3NF
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.60	15.36	15.32
	mid	15.95	15.38	15.29
	der			
Ancho, Binf (cm)	izq			
	mid	15.22	15.07	15.00
	der	15.20	15.07	15.30
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq			
	mid	15.67	15.22	15.24
	der	14.90	15.18	15.06
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.12	15.04	14.83
	mid	15.23	14.97	15.16
	der			
Longitud (cm)		55.60	55.20	55.00
		55.00	55.10	55.20
		54.70	55.10	55.00
		55.50	55.00	55.00
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		28.79	27.97	28.01
Carga máxima (KN)		36.46	36.73	34.99
Porcentaje de ripios rotos		60%	70%	65%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.81	15.30	15.27
Ancho central promedio (cm)		15.23	15.02	15.08
Sección central (cm ²)		240.7	229.8	230.2
Inercia (cm ⁴)		5014	4483	4470
Volumen (cm ³)		13024	12665	12635
Peso unitario (Kg/litro)		2.211	2.209	2.217
Momento flector (Kg x cm)		27652	27856	26537
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		43.596	47.536	45.311
Módulo promedio (Kg/cm ²)			45.48	±4.33%
Módulo característico (Kg/cm ²)			43.111	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	5%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	43.11
-----	------	----------------	----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.57 Resultados flexión para A/C=0.64, %Material fino=10%

Identificación de vigueta		1H	2H	3H
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.35	15.08	15.15
	mid	15.50	15.48	15.52
	der	15.20	15.02	15.42
Ancho, Binf (cm)	izq	14.45	15.20	14.76
	mid	14.52	14.96	14.89
	der	14.78	14.65	15.08
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.18	14.98	15.01
	mid	15.27	15.41	15.26
	der	15.15	15.15	15.22
Ancho, Bsup (cm)	izq	14.96	15.26	14.74
	mid	14.72	15.02	15.04
	der	14.88	14.63	15.27
Longitud (cm)		55.00	54.75	55.00
		55.10	54.50	55.10
		55.00	54.50	54.95
		55.20	54.70	54.90
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso	(Kg)	27.25	27.27	27.56
Carga máxima	(KN)	20.551	24.222	22.741
Porcentaje de ripios rotos		30%	40%	35%
Longitud promedio segmento (cm)		27	23	25
Observaciones				
Altura central promedio	(cm)	15.39	15.45	15.39
Ancho central promedio	(cm)	14.62	14.99	14.97
Sección central	(cm ²)	224.9	231.5	230.3
Inercia	(cm ⁴)	4437	4602	4546
Volumen	(cm ³)	12382	12402	12559
Peso unitario	(Kg/litro)	2.201	2.199	2.195
Momento flector	(Kgxcn)	15586	18370	17247
Módulo de flexión	(Kg/cm ²)	27.024	30.824	29.195
Módulo promedio	(Kg/cm ²)		29.01	±6.55%
Módulo característico	(Kg/cm ²)		26.726	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	10%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	26.73
-----	------	----------------	-----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.58 Resultados flexión para A/C=0.51, %Material fino=10%

Identificación de vigueta		1D	2D	3D
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.38	16.20	15.29
	mid	15.21	15.22	15.19
	der	15.26	15.21	15.23
Ancho, Binf (cm)	izq	15.26	15.65	15.17
	mid	15.31	15.33	15.18
	der	15.29	15.50	15.19
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.29	15.32	14.92
	mid	15.40	15.36	15.02
	der	14.91	15.20	14.76
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.38	15.36	15.02
	mid	15.21	15.25	14.76
	der	15.23	15.20	15.00
Longitud (cm)		54.95	55.02	55.00
		54.90	55.01	55.10
		54.98	55.03	54.98
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		28.20	29.07	27.66
Carga máxima (KN)		23.1	28	28.9
Porcentaje de ripios rotos		50%	40%	
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.31	15.29	15.11
Ancho central promedio (cm)		15.26	15.29	14.97
Sección central (cm ²)		233.6	233.8	226.1
Inercia (cm ⁴)		4559	4555	4299
Volumen (cm ³)		12796	13049	12482
Peso unitario (Kg/litro)		2.204	2.228	2.216
Momento flector (Kg x cm)		17519	21235	21918
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		29.407	35.644	38.503
Módulo promedio (Kg/cm ²)			34.52	±13.18%
Módulo característico (Kg/cm ²)			28.936	Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	10%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	28.94
-----	------	----------------	-----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.59 Resultados flexión para A/C=0.38, %Material fino=10%

Identificación de vigueta		1-I	2-I	3-I
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.29	15.08	15.16
	mid	15.58	15.64	15.51
	der	15.40	15.08	15.34
Ancho, Binf (cm)	izq	15.55	14.80	15.19
	mid	15.42	15.09	15.27
	der	15.00	15.10	15.12
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.15	14.91	15.03
	mid	15.17	15.48	15.27
	der	15.18	15.09	15.22
Ancho, Bsup (cm)	izq	9.00		
	mid			
	der			
Longitud (cm)		55.40	54.90	55.10
		55.35	54.60	55.20
		55.40	54.75	55.17
		55.30	55.00	55.15
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		25.92	27.98	28.04
Carga máxima (KN)		33.589	33.194	35.353
Porcentaje de ripios rotos		40%	60%	50%
Longitud promedio segmento (cm)		26	29	29
Observaciones	Eflorescencias en todas las probetas			
Altura central promedio (cm)		15.38	15.56	15.39
Ancho central promedio (cm)		15.42	15.09	15.27
Sección central (cm ²)		237.1	234.8	235.0
Inercia (cm ⁴)		4670	4737	4638
Volumen (cm ³)		11637	12505	12784
Peso unitario (Kg/litro)		2.227	2.238	2.194
Momento flector (Kg x cm)		25474	25175	26812
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		41.931	41.343	44.480
Módulo promedio (Kg/cm ²)			42.58	±3.68%
Módulo característico (Kg/cm ²)			40.584	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	10%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	40.58
-----	------	----------------	-----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.60 Resultados flexión para A/C=0.64, %Material fino=15%

Identificación de vigueta		1J	2J	3J
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.70	15.42	15.46
	mid	15.05	15.35	15.37
	der	15.60	15.38	15.42
Ancho, Binf (cm)	izq	15.02	14.88	14.88
	mid	14.81	14.75	14.79
	der	14.97	14.82	14.82
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.52	15.13	15.26
	mid	14.86	15.15	15.06
	der	15.12	15.12	15.18
Ancho, Bsup (cm)	izq	14.87	14.93	14.78
	mid	14.91	15.18	14.68
	der	14.90	15.12	14.70
Longitud (cm)		54.70	55.10	54.92
		54.72	55.00	54.90
		54.69	55.12	54.91
		54.70	55.11	54.93
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso	(Kg)	27.13	27.37	27.04
Carga máxima	(KN)	23.59	23.08	24.75
Porcentaje de ripios rotos		30%	40%	30%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones	Abarquillado			
Altura central promedio	(cm)	14.96	15.25	15.22
Ancho central promedio	(cm)	14.86	14.97	14.74
Sección central	(cm ²)	222.2	228.2	224.2
Inercia	(cm ⁴)	4142	4423	4325
Volumen	(cm ³)	12488	12562	12407
Peso unitario	(Kg/litro)	2.172	2.179	2.179
Momento flector	(Kgxcn)	17891	17504	18771
Módulo de flexión	(Kg/cm ²)	32.299	30.177	33.017
Módulo promedio	(Kg/cm ²)		31.83	±4.46%
Módulo característico	(Kg/cm ²)		30.059	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	15%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	30.06
-----	------	----------------	-----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.61 Resultados flexión para A/C=0.51, %Material fino=15%

Identificación de vigueta		1-K	2-K	3-K
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.33	15.07	15.12
	mid	15.47	15.62	15.55
	der	15.19	15.07	15.32
Ancho, Binf (cm)	izq	14.92	15.25	15.01
	mid	14.77	15.07	14.73
	der	14.82	14.97	14.51
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.16	14.88	15.01
	mid	15.18	15.52	15.26
	der	15.15	15.08	15.23
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.02	15.12	14.95
	mid	14.98	15.09	14.91
	der	15.02	14.92	14.89
Longitud (cm)		55.10	54.85	54.90
		55.00	54.60	55.10
		55.00	54.87	54.90
		55.10	54.60	54.90
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		27.53	27.85	27.47
Carga máxima (KN)		26.479	28.681	17.783
Porcentaje de ripios rotos		50%	30%	35%
Longitud promedio segmento (cm)				
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.33	15.57	15.41
Ancho central promedio (cm)		14.88	15.08	14.82
Sección central (cm ²)		228.0	234.8	228.3
Inercia (cm ⁴)		4461	4743	4515
Volumen (cm ³)		12524	12542	12429
Peso unitario (Kg/litro)		2.198	2.221	2.210
Momento flector (Kg x cm)		20082	21752	13487
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		34.490	35.700	23.009
Módulo promedio (Kg/cm ²)			31.07	±20.43%
Módulo característico (Kg/cm ²)			22.661	Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	15%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	22.66
-----	------	----------------	-----	-------------	----	-------------------------	-------

Tabla 5.62 Resultados flexión para A/C=0.38, %Material fino=15%

Identificación de vigueta		L1	L2	L3
Altura en cara superior, h (cm)	izq	15.12	14.90	15.15
	mid	15.32	15.65	15.18
	der	15.29	15.05	15.14
Ancho, Binf (cm)	izq	14.95	15.28	14.85
	mid	14.19	15.16	14.83
	der	14.12	15.22	15.13
Altura en cara Opuesta, h (cm)	izq	15.02	15.15	15.21
	mid	15.24	15.81	15.31
	der	15.30	15.20	15.40
Ancho, Bsup (cm)	izq	15.12	15.12	14.81
	mid	15.16	15.37	14.98
	der	15.15	15.24	14.98
Longitud (cm)		55.00	54.85	55.04
		55.00	54.50	55.10
		54.90	54.50	55.10
		55.10	54.85	55.10
Luz apoyos inferiores (cm)	[45]			
Luz apoyos superiores (cm)	[15.24]			
Peso (Kg)		27.69	28.10	27.34
Carga máxima (KN)		36.88	43.59	38.00
Porcentaje de ripios rotos		40%	60%	40%
Longitud promedio segmento (cm)		30	26.5	28
Observaciones				
Altura central promedio (cm)		15.28	15.73	15.25
Ancho central promedio (cm)		14.68	15.27	14.91
Sección central (cm ²)		224.2	240.1	227.2
Inercia (cm ⁴)		4363	4951	4401
Volumen (cm ³)		12370	12736	12527
Peso unitario (Kg/litro)		2.239	2.206	2.183
Momento flector (Kg x cm)		27970	33059	28820
Módulo de flexión (Kg/cm ²)		48.980	52.516	49.917
Módulo promedio (Kg/cm ²)			50.47	±3.50%
Módulo característico (Kg/cm ²)			48.273	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	15%	Edad (días)	28	MR(Kg/cm ²)	48.27
-----	------	----------------	-----	-------------	----	-------------------------	-------

5.5. Ensayo directo de tracción por el método brasileño

El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a tracción indirecta de probetas cilíndricas sometiéndolas a una fuerza de compresión aplicada en una banda estrecha en toda su longitud, en consecuencia, el resultado de la fuerza de tracción ortogonal resultante origina que la probeta se rompa a tracción. Aunque el ensayo está previsto efectuarlo sobre probetas cilíndricas, la norma también prevé la posibilidad de llevarlo a cabo utilizando probetas prismáticas o cúbicas. En este caso hay que tener en cuenta los coeficientes de corrección de los resultados que insinúa la propia norma.(Institut Tecnològic de Lleida, 2010).

Este método fue desarrollado por el brasileño Fernando Carneiro (1913-2001), quien verificó que los rodillos cargados a compresión se rompían a tracción a través de fisuras verticales, de ahí la acertada denominación de “tracción indirecta”, sometidos a compresión, rompían a tracción. Para hormigones la norma vigente es la UNE EN 12390-6:2001, en EEUU corresponde a la ASTM C496-11.(Montalar, 2011).

5.5.1 Procedimiento

Se somete a la probeta a una fuerza de compresión aplicada en una banda estrecha y en toda su longitud. El resultado de la fuerza de tracción ortogonal resultante origina que la probeta se rompa a tracción. Durante el ensayo debe asegurarse que la probeta permanece centrada cuando comienza la carga y durante la aplicación de esta, el plato superior ha de estar paralelo al inferior. Se selecciona un incremento de tensión constante dentro del rango de 0.04 a 0.06 Mpa/s. La carga se aplica sin brusquedades y se incrementa continuamente, en la velocidad seleccionada, hasta que se produzca la falla. La velocidad de carga requerida en la máquina de ensayo se calcula mediante la fórmula: (ESPOL, 2014).

$$R = \frac{\pi \cdot s}{2 \cdot L \cdot D} \quad \text{Ecuación 5.10 (ESPOL, 2014). Siendo:}$$

R: Velocidad de incremento de carga (N/s)

L: Longitud de la línea de contacto de la probeta (mm)

D: Dimensión de la sección transversal (mm). Diámetro para probetas cilíndricas.

s: Incremento de tensión (MPa/s)

La resistencia a tracción viene dada por la fórmula:

$$\sigma_{CT} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot D} \quad \text{Ecuación 5.11 (ESPOL, 2014). Siendo:}$$

σ_{CT} : Resistencia a tracción indirecta

F: Carga máxima

L y D: Las mismas que en ecuación 5.10

Para los ensayos realizados para esta disertación se ha usado la placa de carga basculante y la barra de cabeceo del equipo normalmente empleado para flexión de viguetas, con resultados satisfactorios como se puede observar en las fotografías del equipo. No se recomienda usar la placa de cabeceo circular bidireccional por cuanto no cubre toda la longitud del cilindro y presenta inestabilidad al giro en dirección del eje de la probeta. En las siguientes fotografías mostramos la máquina de ensayo, con el ensamblaje de las probetas en la placa de carga y la colocación de las tiras de madera para distribuir la carga. Nótese el rodillo en la barra de cabeceo, para garantizar distribución uniforme de la carga a lo largo de la longitud del espécimen.



Foto 5.4 Máquina de ensayo

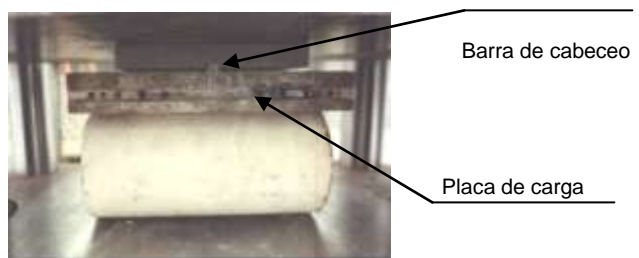


Foto 5.5 Montaje longitudinal de probeta

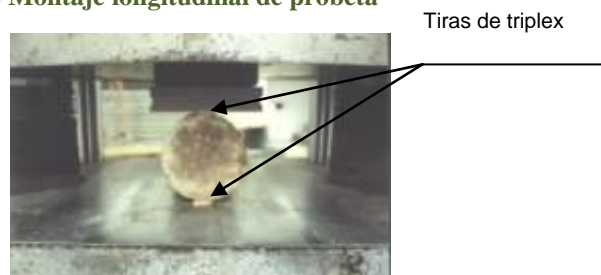


Foto 5.6 Montaje transversal de probeta

Normalmente se debe usar una guía de alineación que garantice que la carga esté aplicada diametralmente, en nuestro caso solamente verificamos la perpendicularidad con una escuadra, para asegurarnos que la vertical pase por el centro de la probeta. Con el objeto de estimar el porcentaje de agregados gruesos que se hubieran roto después del ensayo procedimos así:

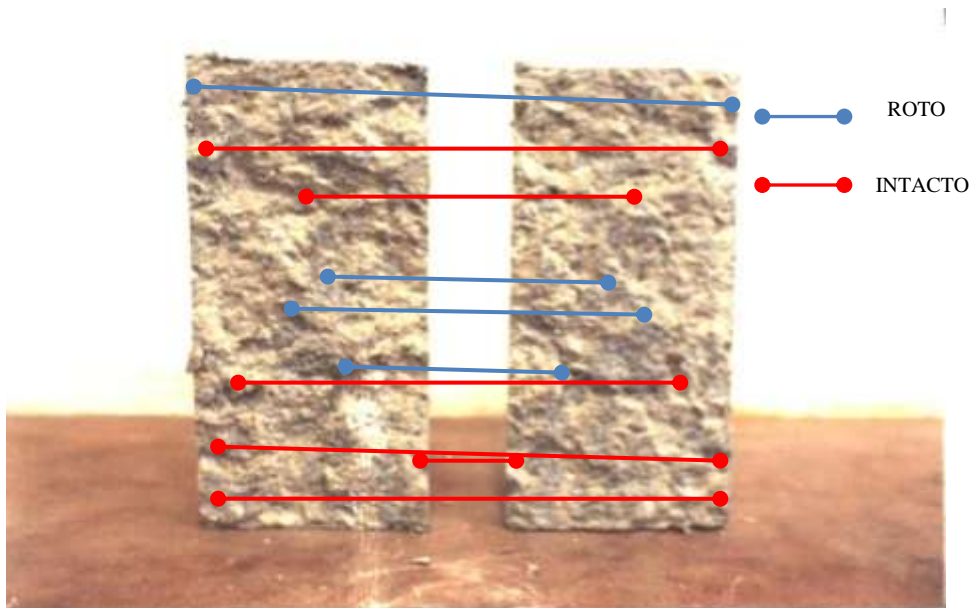


Foto 5.7 Mitades de un cilindro fallado

En la fotografía anterior observamos que se ha tomado una muestra de 10 ripios, se observan las cavidades o protuberancias en la mitad izquierda y se comparan con la mitad derecha, si en ambos casos reluce el color del agregado, entonces este se ha roto, si la forma es cóncava en una mitad y convexa en la otra, el ripio se ha mantenido intacto y lo que ha fallado es la adherencia de la pasta. Para este caso, podemos decir estimamos un 40% de ripios rotos.

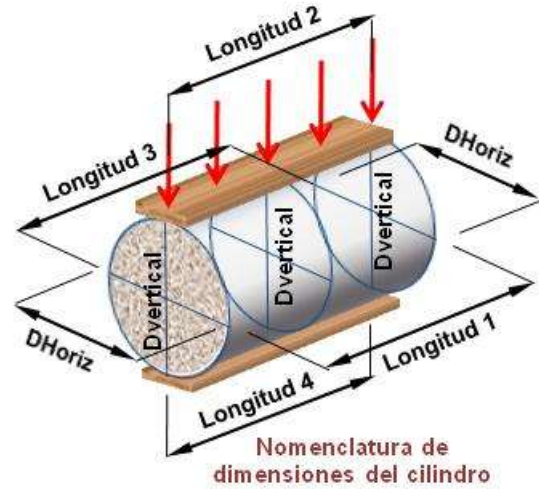
5.5.2 Resultados de los ensayos a tracción

Presentamos en las siguientes páginas los resultados de las pruebas de laboratorio para el ensayo brasileño a tracción, para los cuales hemos empleado los mismos criterios que en el ensayo de flexión de viguetas en lo que respecta a preparación, dimensionamiento, pesado, ensayo y cálculos.

Tabla 5.63 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=0%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Elaboración Martes, 14 Noviembre
 Ensayado Martes, 12 Diciembre

Agua/cemento **.64**
 % Material fino **0%**
 Edad (días) **28**



Identificación de cilindro		NP4		NP11
Longitud	(cm)	29.92		29.98
		29.82		29.97
		29.73		29.93
		29.61		29.88
Diámetro vertical (cm)	izq	15.19		15.00
	mid	15.22		15.21
	der	15.16		15.25
Diámetro horizontal (cm)	izq	15.07		15.12
	mid	15.28		15.16
	der	15.10		15.22
Peso	(Kg)	11.82		11.92
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	179.50		217.51
Tipo de falla				
Observaciones finales		FALLA CASI PLANA		FALLA IRREGULAR
%ripios rotos		80%		70%
Longitud promedio	(cm)	29.77		29.94
Diámetro vertical	(cm)	15.19		15.15
Diámetro horizontal	(cm)	15.15		15.17
Sección resistente LxDv	(cm ²)	452.2		453.7
Volumen	(cm ³)	5381		5404
Peso unitario	(Kg/litro)	2.197		2.206
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.201	±0.20%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	25.76		31.11
Esfuerzo promedio	(cm ²)		28.44	±9.41%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		23.89	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	0%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	23.89
-----	------	----------------	----	-------------	----	---------------------------	-------

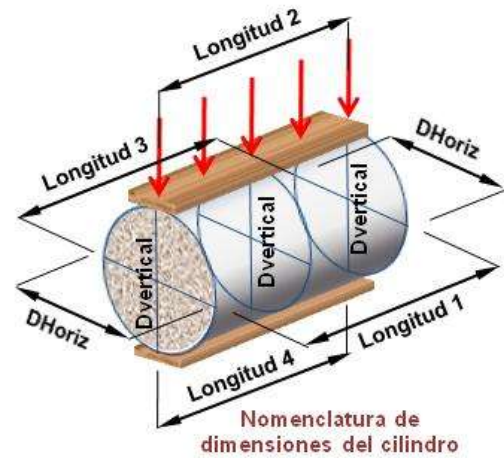
Tabla 5.64 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=0%

Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Elaboración Jueves 23, Noviembre

Ensayado Jueves 21, Diciembre

Agua/cemento **0.51**
 % Material fino **0%**
 Edad (días) **28**

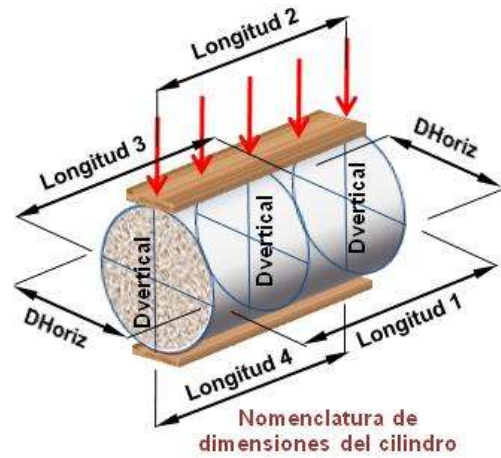


Identificación de cilindro		NB10		NB11
Longitud	(cm)	30.58		29.98
		30.45		30.16
		30.52		29.98
		30.58		30.06
Diámetro vertical (cm)	izq	15.30		14.95
	mid	15.14		15.11
	der	15.04		15.31
Diámetro horizontal (cm)	izq	15.20		15.20
	mid	15.03		15.15
	der	15.20		15.20
Peso	(Kg)	12.10		11.98
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	294.68		265.39
Tipo de falla				
Observaciones finales				
%ripios rotos		90%		70%
Longitud promedio	(cm)	30.53		30.05
Diámetro vertical	(cm)	15.16		15.12
Diámetro horizontal	(cm)	15.14		15.18
Sección resistente LxDv	(cm ²)	462.9		454.4
Volumen	(cm ³)	5505		5418
Peso unitario	(Kg/litro)	2.198		2.211
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.204	±0.30%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	41.31		37.90
Esfuerzo promedio	(cm ²)		39.61	±4.31%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		36.71	Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	0%	Edad (días)	28	§trac Kg/cm ²	36.71
-----	------	----------------	----	-------------	----	--------------------------	-------

Tabla 5.65 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=0%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Elaboración Viernes 17, Nov
 Ensayado Viernes 15, Dic
 Agua/cemento **.38**
 % Material fino **0%**
 Edad (días) **28**



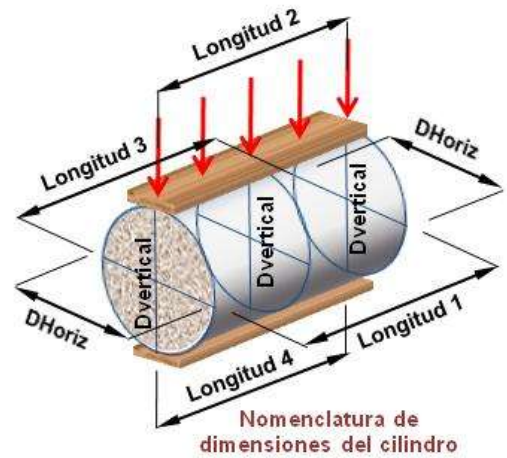
Identificación de cilindro		NC10		NC11
Longitud	(cm)	30.16		31.39
		30.06		31.26
		30.25		31.24
		30.21		31.24
Diámetro vertical (cm)	izq mid der	15.31 15.17 15.25		15.75 15.71 15.80
Diámetro horizontal (cm)	izq mid der	15.22 15.23 15.25		15.68 15.81 15.65
Peso	(Kg)	12.06		13.35
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	294.88		312.88
Tipo de falla				
Observaciones finales				
%ripios rotos		90%		80%
Longitud promedio	(cm)	30.17		31.28
Diámetro vertical	(cm)	15.24		15.75
Diámetro horizontal	(cm)	15.23		15.71
Sección resistente LxDv	(cm ²)	459.9		492.8
Volumen	(cm ³)	5502		6082
Peso unitario	(Kg/litro)	2.192		2.195
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.193	±0.07%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	41.61		41.20
Esfuerzo promedio	(cm ²)		41.41	±0.49%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		41.06	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	0%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	41.06
-----	------	----------------	----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.66 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=5%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Lunes 08, Enero
 Ensayado Lunes 05, Febrero

Agua/cemento **0.64**
 % Material fino **5%**
 Edad (días) **28**

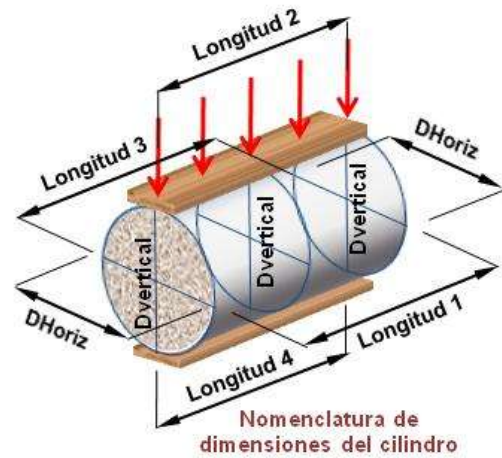


Identificación de cilindro		10G		14G
Longitud	(cm)	30.34		30.69
		30.40		30.62
		30.25		30.46
		30.33		30.54
Diámetro vertical (cm)	izq	15.16		15.58
	mid	15.18		14.49
	der	15.11		15.56
Diámetro horizontal (cm)	izq	15.17		15.60
	mid	15.19		15.68
	der	15.20		15.63
Peso	(Kg)	12.20		12.85
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	206.00		242.00
Tipo de falla				
Observaciones finales				
%ripios rotos		40%		70%
Longitud promedio	(cm)	30.33		30.58
Diámetro vertical	(cm)	15.15		15.21
Diámetro horizontal	(cm)	15.19		15.64
Sección resistente LxDv	(cm ²)	459.5		465.1
Volumen	(cm ³)	5481		5712
Peso unitario	(Kg/litro)	2.226		2.250
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.238	±0.53%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	29.09		33.77
Esfuerzo promedio	(cm ²)		31.43	±7.44%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		27.46	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	5%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	27.46
-----	------	----------------	----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.67 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=5%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Mié 03, Enero
 Ensayado Mié 31, Enero
Agua/cemento 0.51
% Material fino 5%
Edad (días) 28

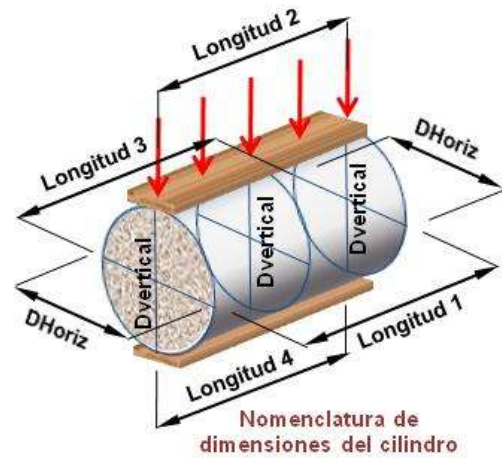


Identificación de cilindro		E12		E13
Longitud	(cm)	30.42		30.54
		30.33		30.32
		30.26		30.45
		30.40		30.29
Diámetro vertical (cm)	izq mid der	15.17 15.20 15.16		14.98 15.32 15.20
Diámetro horizontal (cm)	izq mid der	15.14 15.18 15.19		15.15 15.20 15.16
Peso	(Kg)	12.17		12.14
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	265.00		264.00
Tipo de falla				
Observaciones finales				
%ripios rotos		70%		80%
Longitud promedio	(cm)	30.35		30.40
Diámetro vertical	(cm)	15.18		15.17
Diámetro horizontal	(cm)	15.17		15.17
Sección resistente LxDv	(cm ²)	460.6		461.1
Volumen	(cm ³)	5488		5493
Peso unitario	(Kg/litro)	2.217		2.210
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.214	±0.17%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	37.33		37.16
Esfuerzo promedio	(cm ²)		37.25	±0.23%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		37.10	Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	5%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	37.10
-----	------	----------------	----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.68 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=5%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Mar 09, Ene
 Ensayado Mar 06, Feb
Agua/cemento 0.38
% Material fino 5%
Edad (días) 28

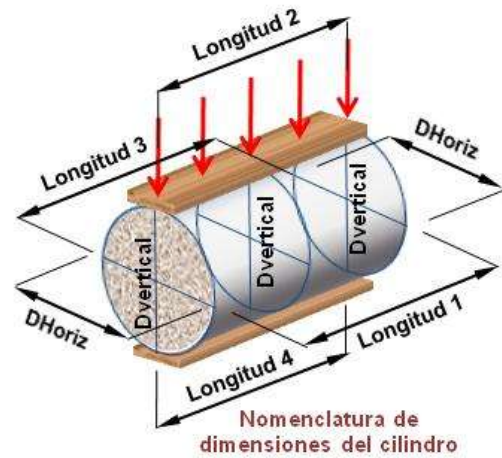


Identificación de cilindro		9NF		10NF
Longitud	(cm)	30.92		30.20
		30.79		30.01
		30.88		30.18
		30.91		30.07
Diámetro vertical (cm)	izq mid der	15.41 15.40 15.48		14.89 14.90 14.90
Diámetro horizontal (cm)	izq mid der	15.43 15.51 15.49		14.94 14.92 14.92
Peso	(Kg)	12.86		11.70
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	290.00		298.00
Tipo de falla				
Observaciones finales				
%ripios rotos		99%		80%
Longitud promedio	(cm)	30.88		30.12
Diámetro vertical	(cm)	15.43		14.90
Diámetro horizontal	(cm)	15.48		14.93
Sección resistente LxDv	(cm ²)	476.4		448.6
Volumen	(cm ³)	5791		5259
Peso unitario	(Kg/litro)	2.221		2.225
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.223	±0.09%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	39.50		43.11
Esfuerzo promedio	(cm ²)		41.31	±4.36%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		38.25	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	5%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	38.25
-----	------	----------------	----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.69 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=10%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Vie 26, Ene
 Ensayado Vie 23, Feb
Agua/cemento 0.64
% Material fino 10%
Edad (días) 28

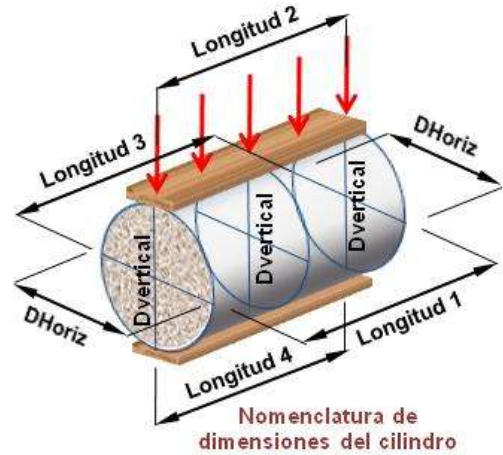


Identificación de cilindro		2H		5H
Longitud	(cm)	30.38		30.28
		30.45		30.25
		30.28		30.24
		30.52		30.39
Diámetro vertical (cm)	izq	15.38		15.21
	mid	15.31		15.20
	der	15.35		15.14
Diámetro horizontal (cm)	izq	15.25		15.25
	mid	15.38		15.26
	der	15.42		15.14
Peso	(Kg)	12.48		12.16
Observaciones iniciales		Mal compactado en parte inferior		
Carga de rotura	(KN)	181.90		149.00
Tipo de falla		Casi plana		Montañosa
Observaciones finales		Dos cuñas en los planos de falla		
%ripios rotos		40%		30%
Longitud promedio	(cm)	30.41		30.29
Diámetro vertical	(cm)	15.35		15.18
Diámetro horizontal	(cm)	15.35		15.22
Sección resistente LxDv	(cm ²)	466.7		459.9
Volumen	(cm ³)	5626		5496
Peso unitario	(Kg/litro)	2.218		2.212
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.215	±0.13%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	25.30		21.02
Esfuerzo promedio	(cm ²)		23.16	±9.22%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		19.54	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	10%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	19.54
-----	------	----------------	-----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.70 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=10%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Mar 02, Ene
 Ensayado Mar 30, Ene
Agua/cemento 0.51
% Material fino 10%
Edad (días) 28



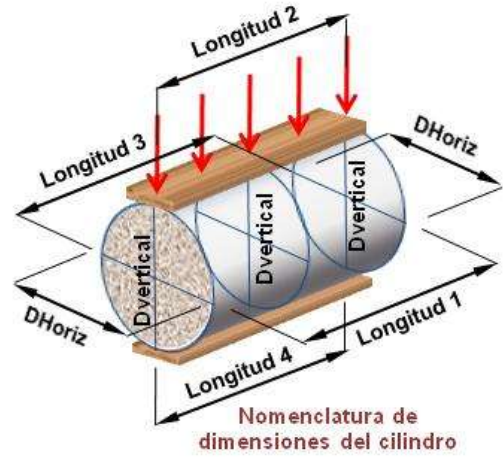
Identificación de cilindro		9D	10D
Longitud	(cm)	30.30	30.37
		30.23	30.29
		30.19	30.55
		30.13	30.48
Diámetro vertical (cm)	izq	15.22	15.26
	mid	15.04	15.11
	der	15.28	15.08
Diámetro horizontal (cm)	izq	15.13	15.21
	mid	15.12	15.13
	der	15.22	15.14
Peso	(Kg)	12.18	12.18
Observaciones iniciales			
Carga de rotura	(KN)	261.00	224.00
Tipo de falla			
Observaciones finales			
%ripios rotos			50%
Longitud promedio	(cm)	30.21	30.42
Diámetro vertical	(cm)	15.18	15.15
Diámetro horizontal	(cm)	15.16	15.16
Sección resistente LxDv	(cm ²)	458.6	460.9
Volumen	(cm ³)	5459	5488
Peso unitario	(Kg/litro)	2.231	2.219
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.225 ±0.26%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	36.93	31.54
Esfuerzo promedio	(cm ²)		34.24 ±7.87%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		29.66 Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	10%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	29.66
-----	------	----------------	-----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.71 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=10%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Lun 05, Feb
 Ensayado Lun 05, Mar

Agua/cemento **.38**
 % Material fino **10%**
 Edad (días) **28**



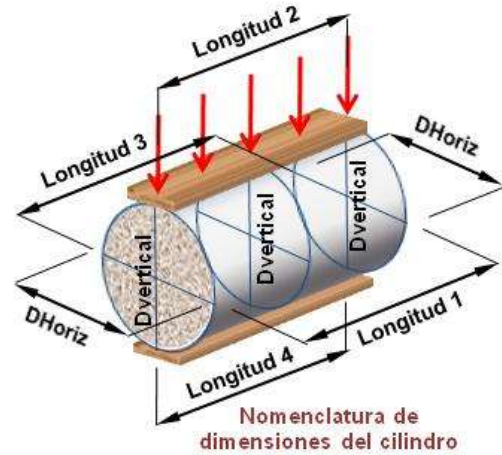
Identificación de cilindro		5-I		14-I
Longitud	(cm)	30.57		30.46
		30.60		30.52
		30.54		30.36
		30.56		30.44
Diámetro vertical (cm)	izq mid der	15.03 15.22 15.07		15.16 15.23 15.01
Diámetro horizontal (cm)	izq mid der	15.10 15.15 15.32		15.07 15.08 15.24
Peso	(Kg)	12.21		12.11
Observaciones iniciales				Costura irregular
Carga de rotura	(KN)	255.03		277.20
Tipo de falla		Ligeramente ondulada		Explosiva astilla central
Observaciones finales		Mitades casi intactas, pocas cuñas		Muchas cuñas y escombros
%ripios rotos		60%		60%
Longitud promedio	(cm)	30.57		30.45
Diámetro vertical	(cm)	15.11		15.13
Diámetro horizontal	(cm)	15.19		15.13
Sección resistente LxDv	(cm ²)	461.8		460.7
Volumen	(cm ³)	5509		5475
Peso unitario	(Kg/litro)	2.217		2.213
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.215 ±0.10%	
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	35.84		39.04
Esfuerzo promedio	(cm ²)		37.44 ±4.28%	
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		34.72	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	10%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	34.72
-----	------	----------------	-----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.72 Resultados tracción para A/C=0.64, %Material fino=15%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Lun 15 Enero
 Ensayado Lun 12 Febrero

Agua/cemento **.64**
 % Material fino **15%**
 Edad (días) **28**



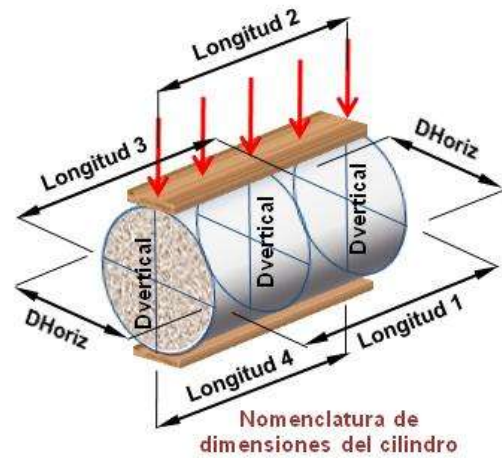
Identificación de cilindro		3J		5J
Longitud	(cm)	30.33		29.98
		30.17		29.70
		30.28		29.88
		30.32		29.78
Diámetro vertical (cm)	izq mid der	15.04 15.23 15.05		15.32 15.38 15.40
Diámetro horizontal (cm)	izq mid der	15.15 15.12 15.19		15.30 15.43 15.39
Peso	(Kg)	12.02		12.19
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	201.40		178.50
Tipo de falla		Múltiples cuñas		
Observaciones finales		Se formaron algunas cuñas		Se formaron algunas cuñas
%ripios rotos		40%		40%
Longitud promedio	(cm)	30.28		29.84
Diámetro vertical	(cm)	15.11		15.37
Diámetro horizontal	(cm)	15.15		15.37
Sección resistente LxDv	(cm ²)	457.4		458.5
Volumen	(cm ³)	5443		5536
Peso unitario	(Kg/litro)	2.208		2.202
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.205	±0.14%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	28.58		25.27
Esfuerzo promedio	(cm ²)		26.92	±6.15%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		24.11	Alfa=1.2

A/C	0.64	%material fino	15%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	24.11
-----	------	----------------	-----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.73 Resultados tracción para A/C=0.51, %Material fino=15%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Mar 23, Ene
 Ensayado Mar 20, Feb

Agua/cemento 51%
 % Material fino 15%
 Edad (días) 28



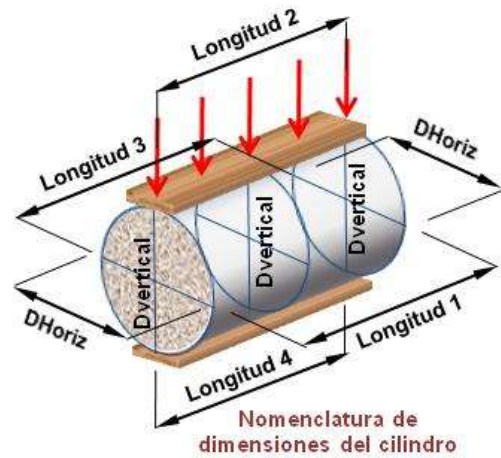
Identificación de cilindro		1-K		5-K
Longitud	(cm)	30.22		30.30
		30.20		30.24
		30.20		30.27
		30.27		30.39
Diámetro vertical (cm)	izq mid der	15.31 15.16 15.00		15.39 15.02 15.07
Diámetro horizontal (cm)	izq mid der	15.14 15.13 15.09		15.20 15.11 15.19
Peso	(Kg)	12.15		12.19
Observaciones iniciales				
Carga de rotura	(KN)	226.81		237.39
Tipo de falla				
Observaciones finales				
%ripios rotos		40%		50%
Longitud promedio	(cm)	30.22		30.30
Diámetro vertical	(cm)	15.16		15.16
Diámetro horizontal	(cm)	15.12		15.17
Sección resistente LxDv	(cm ²)	458.1		459.3
Volumen	(cm ³)	5440		5472
Peso unitario	(Kg/litro)	2.234		2.228
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.231	±0.13%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	32.13		33.54
Esfuerzo promedio	(cm ²)		32.83	±2.14%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		31.64	Alfa=1.2

A/C	0.51	%material fino	15%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	31.64
-----	------	----------------	-----	-------------	----	---------------------------	-------

Tabla 5.74 Resultados tracción para A/C=0.38, %Material fino=15%
Ensayo de tracción por partida, método brasileño

Fabricación Vie 09, Feb
 Ensayado Vie 09, Mar

Agua/cemento **0.38**
 % Material fino **15%**
 Edad días) **28**



Identificación de cilindro		L13		L14
Longitud	(cm)	30.23		30.53
		30.32		30.34
		30.29		30.80
		30.18		30.56
Diámetro vertical (cm)	izq	15.32		15.25
	mid	15.12		15.28
	der	14.99		15.18
Diámetro horizontal (cm)	izq	15.12		15.14
	mid	15.17		15.14
	der	15.18		15.20
Peso	(Kg)	12.05		12.11
Observaciones iniciales		Borde superior desportillado		Hueco en base superior ripios visibles
Carga de rotura	(KN)	265.79		267.10
Tipo de falla		Una cuña grande falla casi plana		Plana ondulada vertical
Observaciones finales				
%ripios rotos		45%		60%
Longitud promedio	(cm)	30.26		30.56
Diámetro vertical	(cm)	15.14		15.24
Diámetro horizontal	(cm)	15.16		15.16
Sección resistente LxDv	(cm ²)	458.2		465.6
Volumen	(cm ³)	5454		5544
Peso unitario	(Kg/litro)	2.209		2.184
P. Unitario promedio	(Kg/litro)		2.197	±0.57%
Esfuerzo de tensión	(cm ²)	37.65		37.23
Esfuerzo promedio	(cm ²)		37.44	±0.56%
Esfuerzo característico	(Kg/cm ²)		37.08	Alfa=1.2

A/C	0.38	%material fino	15%	Edad (días)	28	S.trac Kg/cm ²	37.08
-----	-------------	----------------	------------	-------------	-----------	---------------------------	--------------

CAPÍTULO 6

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

6.1. Propiedades de los agregados

Hemos resumido los resultados de los ensayos de los agregados en el siguiente cuadro.

Tabla 6.1 Resumen de características de los agregados

AGREGADO GRUESO	Origen	CUSUCO	RUMICUCHO	PIFO	EL VOLCÁN
GRANULOMETRÍA					
Tamaño máximo del agregado	mm	25.4	25.4	19.05	25.4
Módulo granulométrico		6.96	6.32	6.24	7.06
Designación más cercana		57	68	68	57
Cumple en esta designación?	SI/NO	SI	NO	SI	SI
Terrones de arcilla	%	1.66%	2.90%	0.78%	0.95%
Cumple < max. Permitido?	<1%	NO	NO	SI	SI
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN					
Ge Bulk	T/m ³	2.440	2.426	2.355	2.347
Ges SSS	T/m ³	2.521	2.528	2.421	2.424
Ga aparente	T/m ³	2.655	2.703	2.519	2.543
Absorción	%	3.32%	4.23%	2.76%	3.29%
PESO UNITARIO Y VACÍOS					
Peso unitario suelto PUS	T/m ³	1.407	1.398	1.185	1.143
Peso unitario compactado PUC	T/m ³	1.513	1.553	1.339	1.338
Porcentaje de vacíos	%	37.91%	35.90%	43.07%	42.90%
DURABILIDAD					
Desgaste al ataque de los sulfatos	%	3.86%	1.33%	3.42%	2.86%
Desgaste a la abrasión	%	55.07%	55.91%	25.82%	26.18%
Cumple < max. Permitido?	<40%	NO	NO	SI	SI
AGREGADO FINO					
GRANULOMETRÍA					
Tamaño máximo del agregado	mm	4.76	4.76	4.76	4.76
Módulo de finura		3.41	3.16	2.91	3.71
Designación más cercana		10	T27	T27	10
Cumple en esta designación?	SI/NO	SI	NO	SI	SI
% Material fino que pasa N°200	%	7.44%	11.63%	6.20%	7.80%
Cumple < max, permitido?	<7%	NO	NO	SI	NO
Equivalente de arena	%	49	46	57	53
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN					
Ge Bulk	T/m ³	2.367	2.312	2.321	2.311
Ges SSS	T/m ³	2.485	2.458	2.430	2.400
Ga aparente	T/m ³	2.682	2.707	2.605	2.537
Absorción	%	4.96%	6.32%	4.70%	3.86%
PESO UNITARIO Y VACÍOS					
Peso unitario suelto PUS	T/m ³	1.613	1.642	1.461	1.354
Peso unitario compactado PUC	T/m ³	1.765	1.844	1.634	1.552
Porcentaje de vacíos	%	25.35%	20.15%	29.49%	32.75%
DURABILIDAD					
Desgaste al ataque de los sulfatos	%	13.62%	9.78%	6.76%	7.39%
Cumple contenido orgánico <500ppm	SI/NO	SI	SI	SI	SI

6.2. Resistencia a la compresión

Siendo la resistencia a la compresión una de las propiedades más importantes del hormigón, esta fue medida con mucho cuidado, siguiendo el procedimiento indicado en 5.1.

Del la tabla 6.2 podemos deducir:

La resistencia a compresión a 28 días se redujo hasta en un 20.5%, desde el hormigón patrón hasta un contenido de finos de 15%.

Para la edad de 56 días, este cambio fue más agudo, reduciéndose en 33%. Como la resistencia tiende a aumentar con la edad, este valor más desfavorable es el que tenemos que considerar. Si tabulamos la pérdida de resistencia tendremos:

Tabla 6.2 variación máxima de resistencia en función de la edad.

Edad	A/C	0.64	0.51	0.38
	7	-28.51%	-20.64%	-2.07%
	14	-17.39%	-21.33%	-13.59%
	28	-20.55%	-19.96%	-4.31%
	56	-32.98%	-14.75%	-13.10%
max variación		-32.98%	-21.33%	-13.59%
Var. Para 1% mat fino		-2.2%	-1.42%	-0.91%

Observamos que la máxima variación se da para la mayor relación agua cemento, la cual tiene menor contenido de cemento.

Los resultados de los ensayos mecánicos para resistencia a compresión, tracción flexión, módulo de elasticidad y peso unitario los resumimos en el siguiente cuadro.

Tabla 6.3 Resumen de resultados mecánicos

Resumen de resultados mecánicos		Nombre de la dosificación											
Edad		cero64	cinco64	diez64	quince64	cero51	cinco51	diez51	quince51	cero38	cinco38	diez38	quince38
%mat fino		0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
Relación agua/cemento		0.64	0.64	0.64	0.64	0.51	0.51	0.51	0.51	0.38	0.38	0.38	0.38
Peso unitario	7	2.224	2.218	2.214	2.202	2.214	2.211	2.218	2.206	2.209	2.229	2.206	2.185
Kg/litro	14	2.213	2.216	2.220	2.207	2.211	2.208	2.213	2.212	2.206	2.222	2.186	2.187
	28	2.196	2.216	2.215	2.199	2.208	2.204	2.220	2.218	2.199	2.221	2.201	2.195
	56	2.189	2.217	2.209	2.218	2.204	2.207	2.216	2.210	2.201	2.215	2.214	2.183
Resistencia característica	7	167	127	148	119	260	236	197	206	323	335	341	316
Kg/cm ²	14	212	169	177	175	321	290	265	252	396	370	368	342
	28	243	227	186	193	352	292	273	282	437	437	400	418
	56	247	251	197	166	374	318	326	319	481	437	436	418
Módulo de elasticidad	7	131000	182000	224000	137000	250000	207000	124000	230000	240000	280000	267000	216000
Kg/cm ²	14	246000	214000	226000	191000	224000	205000	164000	210000	334000	287000	216000	235000
	28	141000	264000	230000	198000	267000	191000	195000	258000	355000	288000	217000	265000
	56	166000	268000	234000	173000	287000	244000	264000	267000	367000	286000	233000	274000
Resistencia tracción (kg/cm ²)	28	28.4	31.4	23.2	26.9	39.6	37.2	34.2	32.8	41.4	41.3	37.4	37.4
Variación (Kg/cm ²)		±9.41%	±7.44%	±9.22%	±6.15%	±4.31%	±0.23%	±7.87%	±2.14%	±0.49%	±4.36%	±4.28%	±0.56%
σ característica (kg/cm ²)		23.9	27.5	19.5	24.1	36.7	37.1	29.7	31.6	41.1	38.2	34.7	37.1
% Ripios rotos		75%	55%	35%	40%	80%	75%	50%	45%	85%	90%	60%	53%
Resistencia flexión (kg/cm ²)	28	16.3	30.5	29.0	31.8	43.7	33.5	34.5	31.1	57.7	45.5	42.6	50.5
Variación (Kg/cm ²)		±4.28%	±4.82%	±6.55%	±4.46%	±0.43%	±12.19%	±13.18%	±20.43%	±6.54%	±4.33%	±3.68%	±3.50%
σ característica (kg/cm ²)		15.3	28.7	26.7	30.1	43.5	28.1	28.9	22.7	52.9	43.1	40.6	48.3
% Ripios rotos		40%	40%	35%	33%	53%	53%	45%	38%	60%	65%	50%	47%

En los siguientes gráficos podemos observar la resistencia característica en función del porcentaje de finos.

Gráfico 6.1 Resistencia a compresión a los 7 días

Ensayo de compresión de cilindros

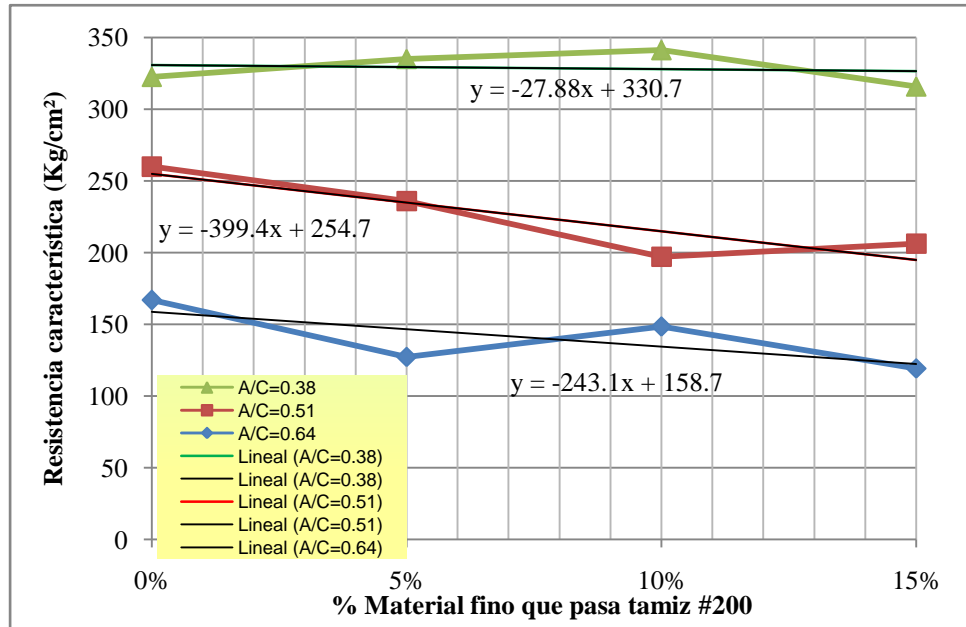


Gráfico 6.2 Resistencia a compresión a los 14 días

Ensayo de compresión de cilindros

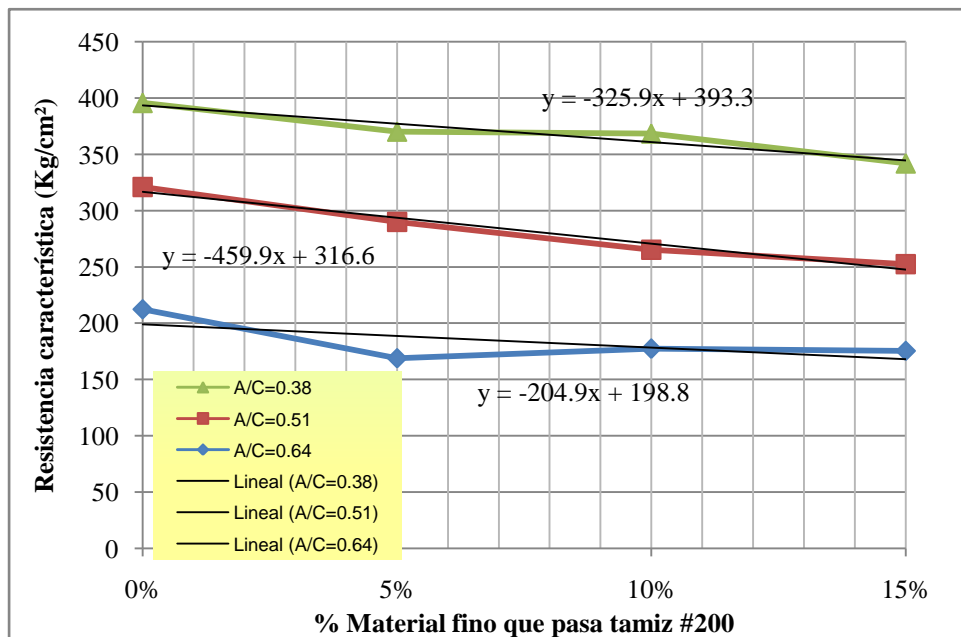


Gráfico 6.3 Resistencia a compresión a los 28 días

Ensayo de compresión de cilindros

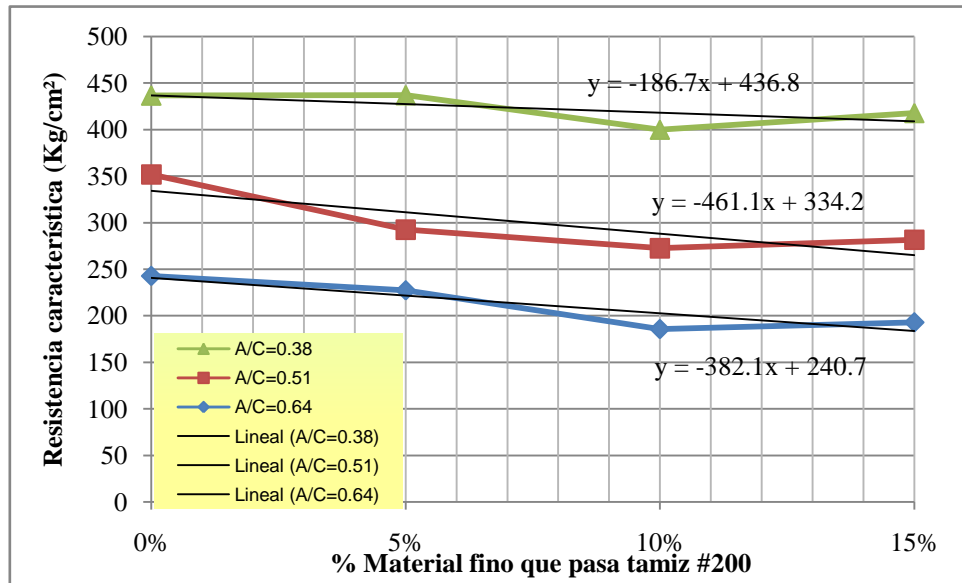
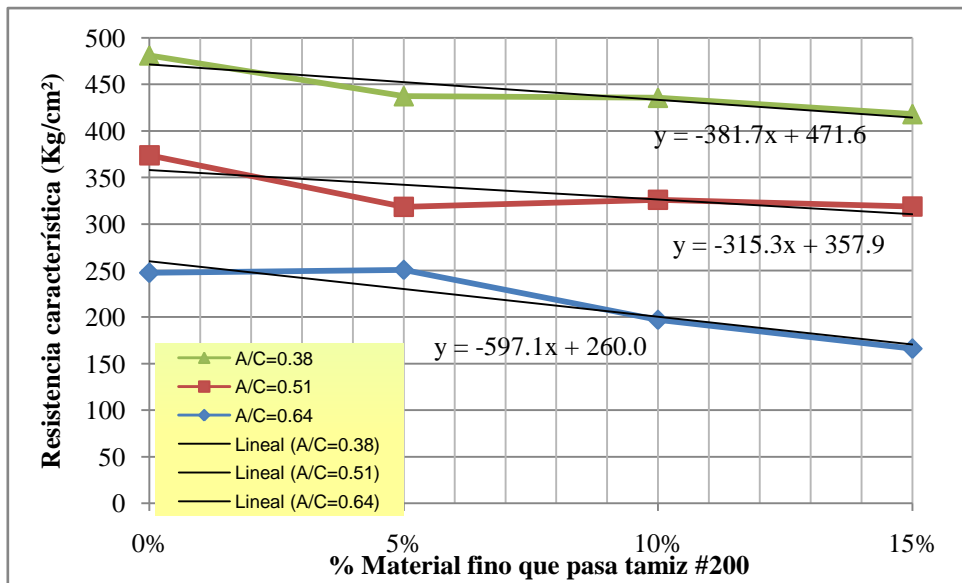


Gráfico 6.4 Resistencia a compresión a los 56 días

Ensayo de compresión de cilindros



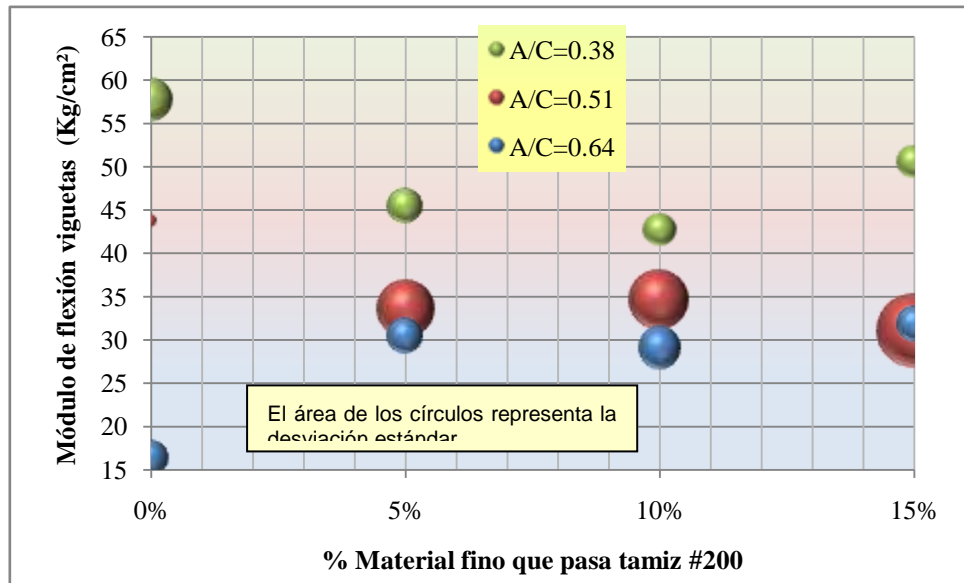
Observamos una clara tendencia a la baja mientras aumenta el contenido de finos para todos los casos, el tipo de envolvente lo hemos asumido a lineal, al no tener mas que 4 puntos de porcentajes de finos.

6.3. Resistencia a flexión

El modulo de flexión de viguetas no nos representa una tendencia clara y sus valores varían en un rango tan enorme como desde 16 a 58 Kg/cm², por lo que solo podemos inferir que es mayor a menor relación agua cemento, sin haber coherencia con el contenido de finos.

Gráfico 6.5 Resistencia a flexión de viguetas

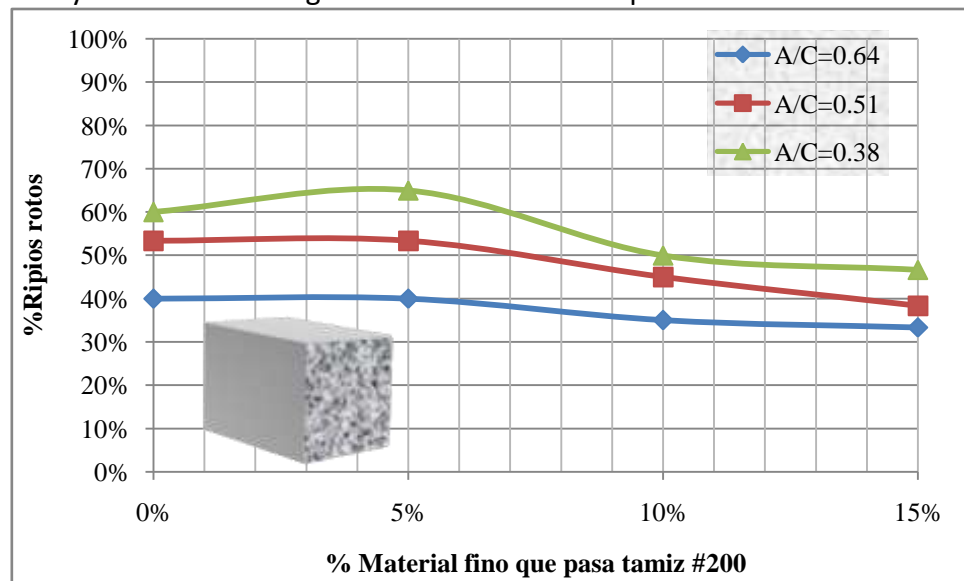
Ensayo de flexión de viguetas Módulo de flexión (Kg/cm²)



Analizamos el porcentaje de ripios rotos y tenemos que este tiene una clara tendencia a reducirse a mayor relación agua cemento.

Gráfico 6.6 Porcentaje de ripios rotos en flexión de viguetas

Ensayo de flexión de viguetas % de ripios rotos

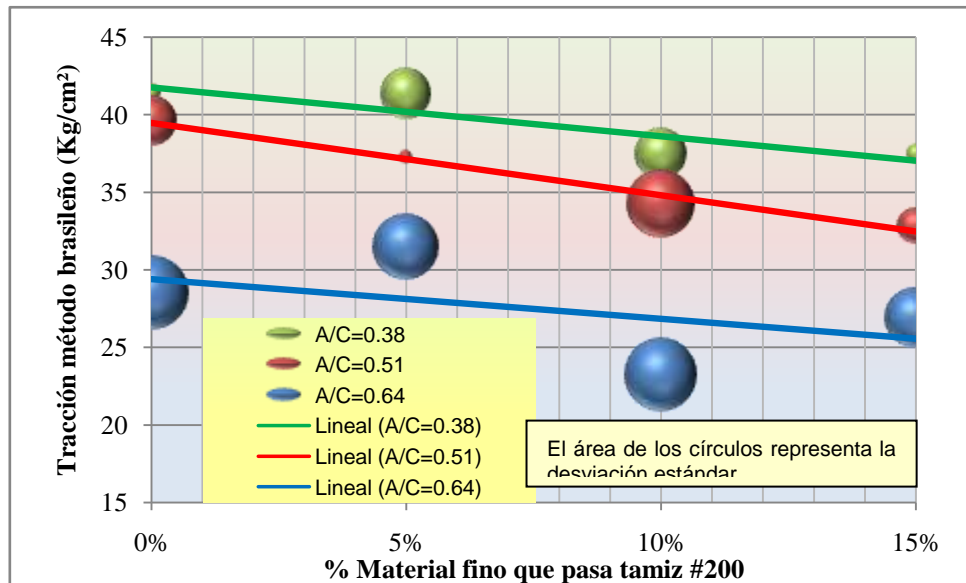


6.4. Resistencia a tracción

En el ensayo de tracción por el método brasileño, a diferencia que en flexión, obtenemos una tendencia a la reducción de resistencia a medida que aumenta el contenido de material fino

Gráfico 6.7 Resistencia a tracción método brasileño

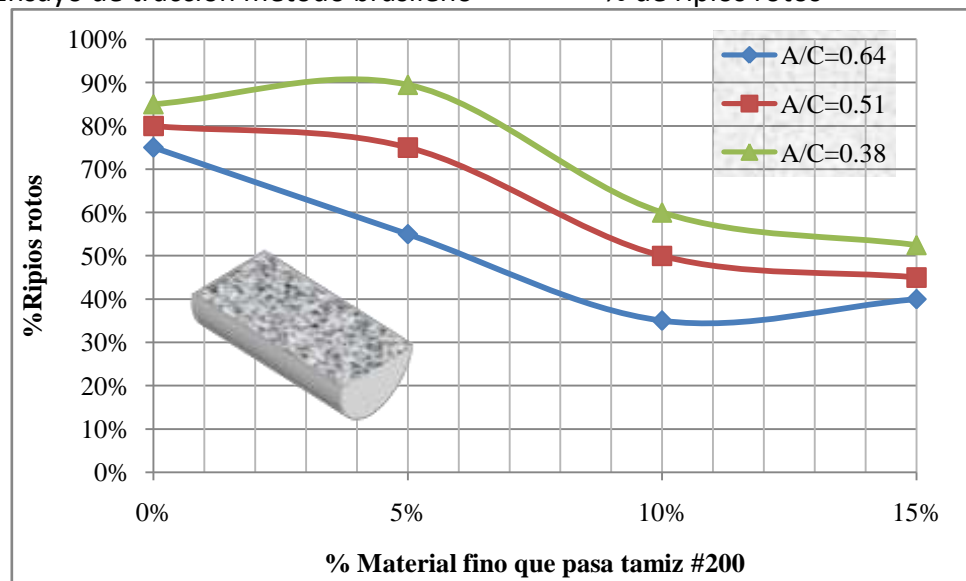
Ensayo de tracción método brasileño Resistencia a la tracción (Kg/cm²)



Para el porcentaje de ripios rotos, nuevamente vemos la tendencia a reducirse a mayor relación agua cemento.

Gráfico 6.8 Porcentaje de ripios rotos en tracción de viguetas

Ensayo de tracción método brasileño % de ripios rotos



6.5. Módulo de elasticidad

En las tablas 5.2 a 5.49 se ha calculado el módulo de elasticidad, según el procedimiento indicado en acápite 5.3 y que se ciñe al criterio de la norma ASTM C-493. De esta información elaboramos los siguientes gráficos:

Gráfico 6.9 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 7 días

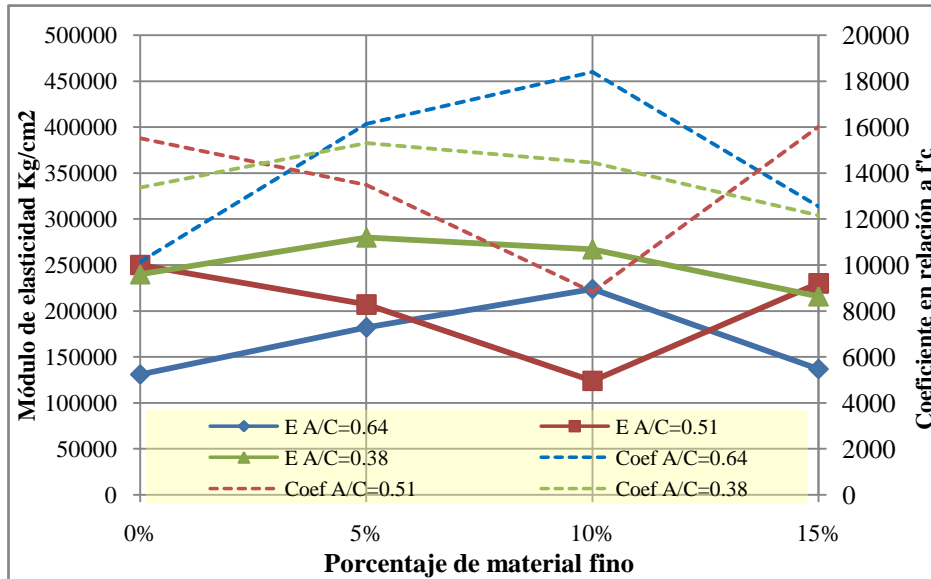


Gráfico 6.10 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 14 días

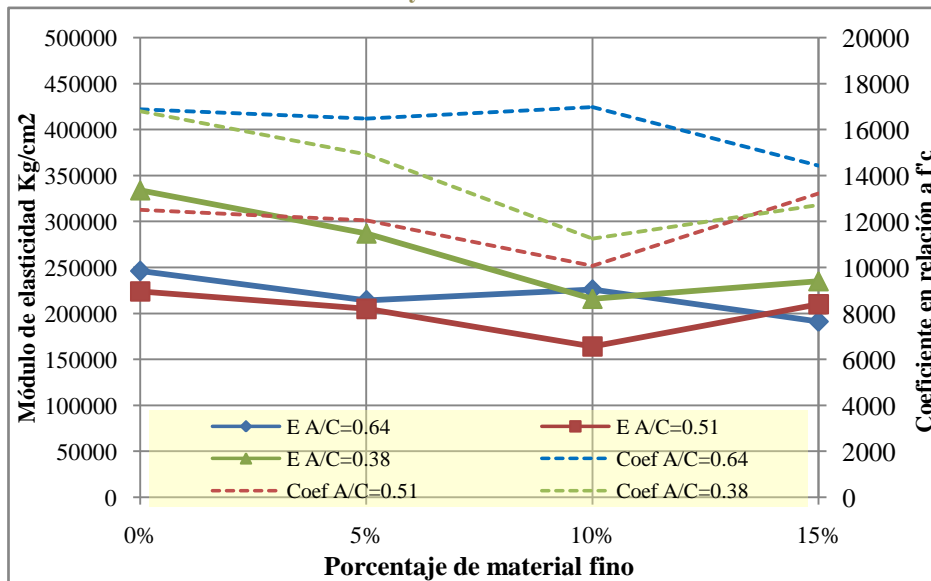


Gráfico 6.11 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 28 días

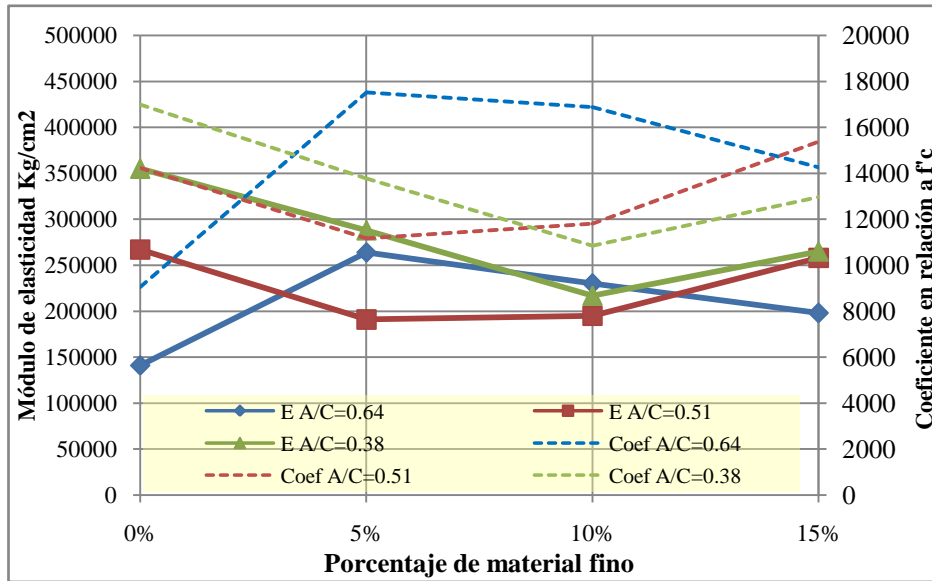
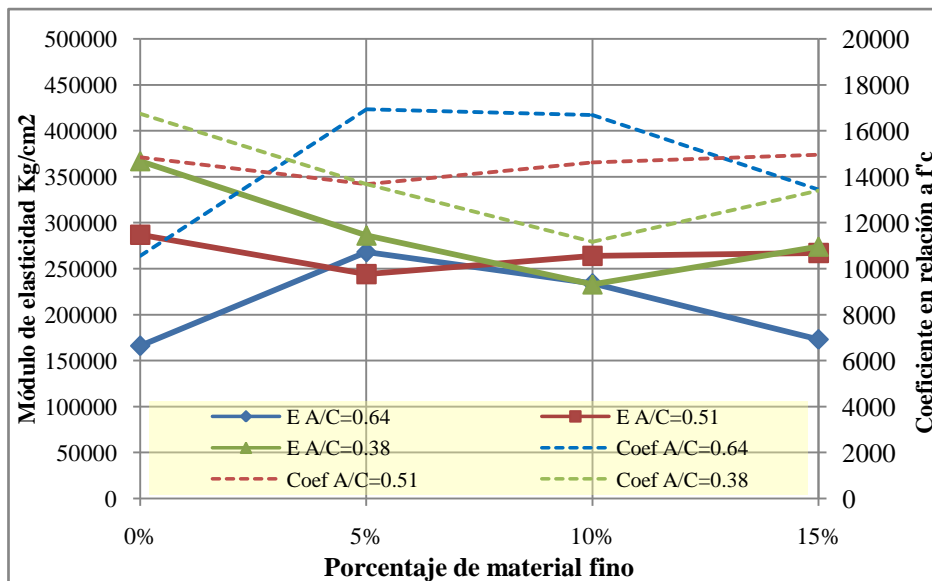


Gráfico 6.12 Módulo de elasticidad y su coeficiente $\times \sqrt{f'c}$ a los 56 días



Las líneas continuas representan el módulo de elasticidad, y las cortadas el coeficiente por el que se multiplicará la raíz cuadrada de $f'c$ para obtener este módulo. Se observa total falta de coherencia en los resultados, siendo el promedio para 28 días de $13700 \pm 31\% \sqrt{f'c}$.

6.6. Relación entre contenido de finos y resistencia

Para cada dosificación hallamos la variación de la resistencia en función del contenido de finos para buscar alguna relación. A partir de los valores más desfavorables entre la tabla 6.2 y los valores calculados de las líneas de tendencia de los gráficos 6.1 a 6.4 tenemos:

Tabla 6.4 coeficientes de tendencia lineal de la resistencia

Edad	A/C	Término b	Factor a	Resistencia	Min a 0% f	Resist.Calc a 15% finos	Min a 15% f	factor
Días		Kg/cm2	Kg/cm2/%f	a 0% finos	Kg/cm2, C		Kg/cm2	D
7	0.64	158.7	-2.431	166.9	158.7	122.2	119	-2.626
7	0.51	254.7	-3.994	259.9	254.7	194.8	195	-3.994
7	0.38	330.7	-0.2788	322.5	322.5	326.5	316	-0.445
14	0.64	198.8	-2.049	212.4	198.8	168.1	168	-2.049
14	0.51	316.6	-4.599	320.9	316.6	247.6	248	-4.599
14	0.38	393.3	-3.259	395.5	393.3	344.4	342	-3.434
28	0.64	240.7	-3.821	242.7	240.7	183.4	183	-3.821
28	0.51	334.2	-4.611	351.9	334.2	265.0	265	-4.611
28	0.38	436.8	-1.876	436.6	436.6	408.7	409	-1.865
56	0.64	260	-5.971	247.5	247.5	170.4	166	-5.440
56	0.51	357.9	-3.153	373.9	357.9	310.6	311	-3.153
56	0.38	471.6	-3.817	481.1	471.6	414.3	414	-3.817

Siendo la ecuación que define la resistencia en las condiciones más desfavorables:

$$f_{cr} = C + D \cdot \% \text{ finos}$$

Ecuación 6.1 resistencia en función de % finos

Siendo:

C, Resistencia mínima entre valores y tendencia para 0% de finos, Kg/cm2

D, Variación de resistencia por cada punto porcentual de variación de finos.

6.7. Curvas relación agua cemento

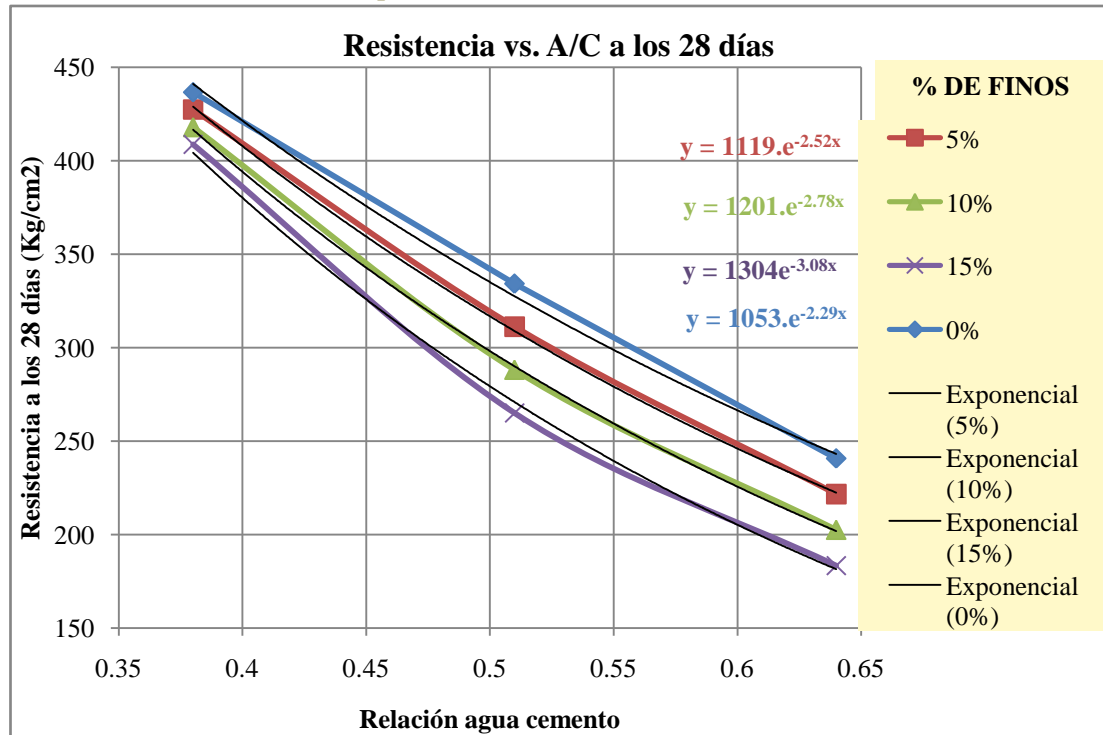
De la tabla 6.4 calculamos:

Tabla 6.5 Resistencia vs. finos

Edad Días	A/C	Min a 0% f Kg/cm2, C	factor D	Resistencia para contenido de finos			
				0%	5%	10%	15%
7	0.64	158.7	-2.626	159	146	132	119
7	0.51	254.7	-3.994	255	235	215	195
7	0.38	322.5	-0.445	323	320	318	316
14	0.64	198.8	-2.049	199	189	178	168
14	0.51	316.6	-4.599	317	294	271	248
14	0.38	393.3	-3.434	393	376	359	342
28	0.64	240.7	-3.821	241	222	202	183
28	0.51	334.2	-4.611	334	311	288	265
28	0.38	436.6	-1.865	437	427	418	409
56	0.64	247.5	-5.440	247	220	193	166
56	0.51	357.9	-3.153	358	342	326	311
56	0.38	471.6	-3.817	472	453	433	414

Graficamos resistencia vs. relación agua cemento para los contenidos de material fino a los 28 días de edad.

Gráfico 6.13 Resistencia vs. A/C para contenido de finos de 0% a 15%



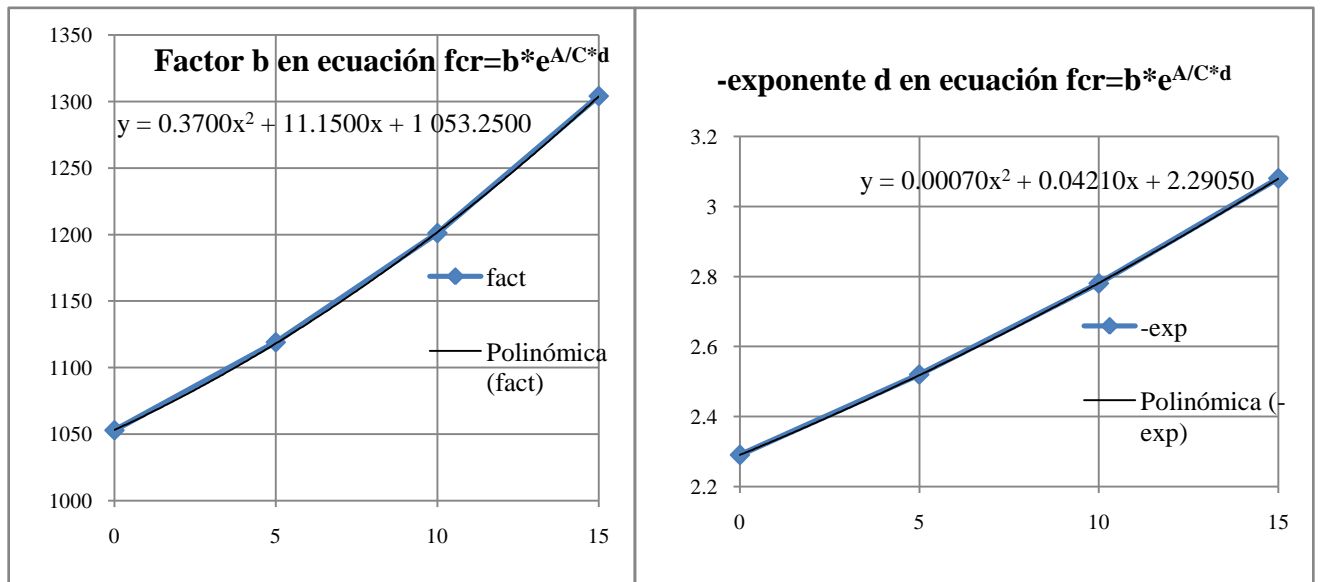
De las ecuaciones de las líneas de tendencia para la resistencia en función de la relación agua cemento despejamos la relación agua cemento.

Tabla 6.6 Tendencia de la resistencia y agua cemento para diferentes porcentajes de finos

	fcr vs. A/C	A/C vs. fcr
0% finos	$fcr = 1053 \cdot e^{-2.29 \cdot A/C}$	$A/C = -.437 \cdot \ln fcr/1053$
5% finos	$fcr = 1129 \cdot e^{-2.52 \cdot A/C}$	$A/C = -.397 \cdot \ln fcr/1129$
10% finos	$fcr = 1201 \cdot e^{-2.78 \cdot A/C}$	$A/C = -.36 \cdot \ln fcr/1201$
15% finos	$fcr = 1304 \cdot e^{-3.08 \cdot A/C}$	$A/C = -.325 \cdot \ln fcr/1053$

Entonces podemos encontrar la razón de variación del factor y los exponentes ajustándolas con ecuaciones cuadráticas:

Grafico 6.14 Factor y exponente en las ecuaciones de tendencia



Por lo tanto la expresión que relaciona resistencia con el contenido de material fino que pasa por el tamiz N°200 y relación agua cemento será:

Ecuación 6.2 Resistencia en función de contenido de finos y A/C

$$fcr = 0.37 \cdot F^2 + 11.15 \cdot F + 1053 \cdot e^{-0.0007 \cdot F^2 + 0.042 \cdot F + 2.29 \cdot A/C}$$

Siendo:

Fcr, Resistencia característica estimada (Kg/cm2)

F, Porcentaje de finos en número del porcentaje, no fracción (ej. 12.5)

A/C, Relación agua cemento.

Para chequear la validez de esta ecuación hemos comparado con la tabla 6.2

Tabla 6.7 Resistencia obtenida vs. calculada

OBTENIDO		EQ. EXPONENCIAL			AJUSTE EXPONENCIAL			AJUSTE CONSERVADOR			EQ. FORMA ABRAMS		
%F	A/C	Kg/cm2	Kg/cm2	Δ%	Kg/cm2	Δfcr ²	Δ%	Kg/cm2	Δfcr ²	Δ%	Kg/cm2	Δfcr ²	Δ%
0	0.64	243	243.2	0.20%	257.4	215.35	6.05%	248.3	31.68	2.32%	241.3	1.9366	-0.57%
0	0.51	352	327.5	-6.94%	337.7	202.26	-4.04%	325.4	703.9	-7.54%	325.9	677.34	-7.39%
0	0.38	437	441.1	1.01%	443.2	42.65	1.50%	426.4	104	-2.34%	440.2	12.775	0.82%
5	0.64	227	223.2	-1.78%	210.9	268	-7.20%	205.1	489.5	-9.74%	207.1	404.29	-8.85%
5	0.51	292	309.6	5.87%	299.2	45.35	2.30%	290.6	3.445	-0.63%	289.7	7.7174	-0.95%
5	0.38	437	429.5	-1.71%	424.5	155.33	-2.85%	411.7	637.7	-5.78%	405.1	1014.4	-7.29%
10	0.64	186	202.8	9.14%	189.4	12.688	1.92%	184.1	2.784	-0.90%	191.0	27.336	2.81%
10	0.51	273	291.1	6.77%	279.2	43.637	2.42%	271.3	1.813	-0.49%	274.6	3.9569	0.73%
10	0.38	400	417.8	4.42%	411.7	134.31	2.90%	399.6	0.241	-0.12%	394.7	29.005	-1.35%
15	0.64	193	181.9	-5.68%	190.7	4.4775	-1.10%	184.1	75.27	-4.50%	185.9	48.052	-3.60%
15	0.51	282	271.3	-3.69%	280.8	0.8009	-0.32%	271.3	109.2	-3.71%	273.3	70.679	-2.98%
15	0.38	418	404.8	-3.12%	413.5	18.389	-1.03%	399.6	331.6	-4.36%	401.8	254.99	-3.82%
Suma Δ o % maximo				9.14%		1143.2	6.05%		2491	2.32%		2552.4	2.81%

Primeramente a la ecuación 6.2 la ajustamos mediante solver para tener las menores variaciones de resistencia generando la ecuación 6.3:

Ecuación 6.3 Ajuste de modelo exponencial de resistencia

$$fcr = 1.987 \cdot F^2 + 49.88 \cdot F + 980.72 \cdot e^{0.006 \cdot F^2 - 0.1507 \cdot F - 2.09 \cdot A/C}$$

Observamos que la resistencia calculada nos arrojará valores hasta un 6.05% mayores que los obtenidos en laboratorio, ajustamos las constantes para obtener valores más conservadores, y de paso, simplificar la fórmula:

Ecuación 6.4 Ajuste conservador de modelo exponencial de resistencia

$$f_{cr} = \sqrt[3]{2 \cdot F^2 + 50 \cdot F + 940} \cdot e^{0.006 \cdot F^2 - 0.15 \cdot F - 2.08 \cdot A/C}$$

Pero, una fórmula del tipo de Abrams es muy parecida a la exponencial y, al poder prescindir de las constantes de menor sensibilidad podemos simplificar más:

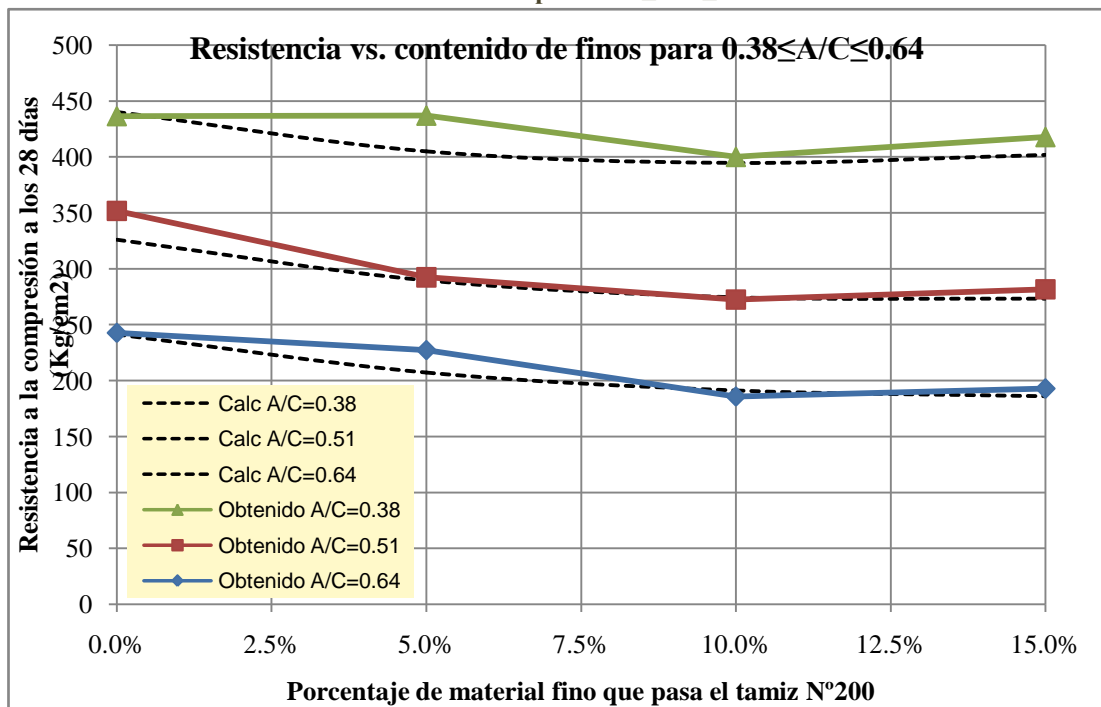
Ecuación 6.5 Ecuación potencial de resistencia vs A/C y finos

$$f_{cr} = \frac{0.8 \cdot F^2 + 1060}{0.62 \cdot F + 10.1} \cdot \frac{A}{C}$$

Siendo las variables para las ecuaciones 6.3 a 6.5 las mismas que en la ecuación 6.2.

El rango de variación de resistencia está entre -8.85% y 2.81%.

Gráfico 6.15 Resistencia vs. contenido de finos para $0.38 \leq A/C \leq 0.64$



Observamos que la resistencia calculada con la fórmula (líneas de puntos) está casi siempre debajo de la obtenida en laboratorio (líneas solidas de colores).

Esto es válido para el uso de cemento portland puzolánico de clase resistente 250, para agregado grueso triturado, agregado fino del polvo de piedra, ambos de las mismas características que los empleados en este estudio, y adición de material fino que pasa por el tamiz N°200.

CAPÍTULO 7

COSTOS.

7.1. Precios de los materiales

Es importante la incidencia del precio de los materiales para obtener hormigones de resistencia comparable, usando agregados en los cuales varíe el contenido de material fino.

Para analizar el precio unitario para fabricar 1m^3 de hormigón, tomaremos como referencia dosificaciones al volumen, ya que la mayoría de proveedores en cantera (excepto agregados Rocafuerte) venden sus productos por volumen suelto, además los transportistas cobran por metro cúbico de acuerdo a la capacidad volumétrica de sus volquetas. Con esta consideración, para el cálculo del hormigón, se considerará los valores de rendimientos obtenidos en el estudio, y transformaremos la cantidad de agregados al volumen, para luego proceder al cálculo neto de los materiales por un metro cúbico de hormigón, y con esos valores establecer la diferencia de costos en porcentaje, entre los diferentes hormigones. Los precios promedio de los materiales son:

Tabla 7.1 Precio de agregados en mina

PRECIO UNITARIO DE LOS MATERIALES EN MINA		
Material	Precio en Mina \$/m ³	Transporte \$/m ³
Arena lavada de río	12,00	10,5
Polvo de piedra de Pintag	6,20	10,5
Arena natural de Rumicucho	5,00	10,5
Piedra N 56 Agregados Rocafuerte, Pifo	16,37	10,5
Ripio triturado de Pintag	12,50	10,5
Agregado grueso natural Rumicucho	9,00	10,5

7.2. Precio unitario para hormigones por materiales y resistencia

Comparamos el precio de los materiales para fabricar 1m^3 de hormigón, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se analizará para obtener diversas resistencias: 240, 330 y 400 Kg/cm^2 , que están dentro del rango de los hormigones más empleados con fines estructurales.
- Se asume que los materiales tendrán las mismas características que los de la mina de Pintag, con curva granulométrica del agregado grueso correspondiente a la designación N°57 y arena según la norma AASHTO T27. La procedencia de los materiales hemos tomado de Pifo, Pintag y Rumicucho, siendo el agregado grueso de Rumicucho de tipo natural y los de Pifo y Pintag triturados.
- Los porcentajes de material fino que pasa por el tamiz N°200 que tendrá cada mezcla serán los mismos que los de los agregados finos de cada procedencia según tablas 2.13 a 2.15. Para la arena lavada de río asumimos que no contiene material fino <N°200.
- La relación agua cemento la hemos calculado con la ecuación 6.5. Las cantidades de materiales se calcularon con el programa de dosificación.
- El costo de transporte se mantuvo fijo en \$10.50 por metro cúbico.

Las tablas, según resistencia requerida y procedencia son:

Tabla 7.2 Precio para $f_{cr}=240 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ y agregado grueso de Pifo

Material que pasa #200/arena Ripio triturado?	0% VERDADERO		Asentam (cm)	8		
Resistencia requerida Kg/cm^2	240		Agua cemento	0,611		
Material	CANTIDAD Kg/M^3	Pus Kg/m^3	V. suelto m^3 / M^3	Precio en Mina $\\$/\text{m}^3$	Transporte $\\$/\text{m}^3$	Costo $\\$/\text{M}^3$
Agua Mezcla	257	1000	0,257	2	1	0,77
Cemento	327	50	6,540	7,5	1	55,59
Agregado grueso Pifo	629	1185	0,531	16,37	10,5	14,26
Arena lavada de río San Pedro	944	1380	0,684	12	10,5	15,39
						86,01

Tabla 7.3 Precio para fcr=330 Kg/cm² y agregado grueso de Pifo

Material que pasa #200/arena	0%		Asentam			
Ripio triturado?	VERDADERO		(cm)	8		
Resistencia requerida Kg/cm ²	330		Agua cemento	0,493		
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	254	1000	0,254	2	1	0,76
Cemento	405	50	8,100	7,5	1	68,85
Agregado grueso Pifo	605	1185	0,511	16,37	10,5	13,72
Arena lavada de río San Pedro	908	1380	0,658	12	10,5	14,80
						98,13

Tabla 7.4 Precio para fcr=400 Kg/cm² y agregado grueso de Pifo

Material que pasa #200/arena	0%		Asentam			
Ripio triturado?	VERDADERO		(cm)	8		
Resistencia requerida Kg/cm ²	400		Agua cemento	0,427		
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	253	1000	0,253	2	1	0,76
Cemento	466	50	9,320	7,5	1	79,22
Agregado grueso Pifo	586	1185	0,495	16,37	10,5	13,29
Arena lavada de río San Pedro	880	1380	0,638	12	10,5	14,35
						107,61

Tabla 7.5 Precio para fcr=240 Kg/cm² y agregados de Pintag

Material que pasa #200/arena	7,80%		Asentam			
Ripio triturado?	VERDADERO		(cm)	8		
Resistencia requerida Kg/cm ²	240		Agua cemento	0,55		
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	256	1000	0,256	2	1	0,77
Cemento	362	50	7,240	7,5	1	61,54
Ripio triturado de Pintag	618	1185	0,522	16,37	10,5	14,01
Polvo de piedra de Pintag	928	1380	0,672	12	10,5	15,13
						91,45

Tabla 7.6 Precio para fcr=330 Kg/cm² y agregados de Pintag

Material que pasa #200/arena	7,8%		Asentam			
Ripio triturado?	VERDADERO		(cm)	8		
Resistencia requerida Kg/cm ²	330		Agua cemento	0,457		
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	253	1000	0,253	2	1	0,76
Cemento	436	50	8,720	7,5	1	74,12
Ripio triturado de Pintag	596	1185	0,503	16,37	10,5	13,51
Polvo de piedra de Pintag	893	1380	0,647	12	10,5	14,56
						102,95

Tabla 7.7 Precio para fcr=400 Kg/cm² y agregados de Pintag

Material que pasa #200/arena	7,8%		Asentam (cm)	8		
Ripio triturado?	VERDADERO		Agua cemento	0,375	f'c sin finos	468,64
Resistencia requerida Kg/cm ²	400					
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	251	1000	0,251	2	1	0,75
Cemento	531	50	10,620	7,5	1	90,27
Ripio triturado de Pintag	567	1185	0,478	16,37	10,5	12,86
Polvo de piedra de Pintag	850	1380	0,616	12	10,5	13,86
						117,74

Tabla 7.8 Precio para fcr=240 Kg/cm² y agregados de Rumicucho

Material que pasa #200/arena	11,63%		Asentam (cm)	8		
Ripio triturado?	FALSO		Agua cemento	0,401		
Resistencia requerida Kg/cm ²	240					
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	252	1000	0,252	2	1	0,76
Cemento	497	50	9,940	7,5	1	84,49
Agregado Grueso natural Rumicucho	577	1185	0,487	16,37	10,5	13,08
Polvo de piedra de Pintag	865	1380	0,627	12	10,5	14,10
						112,43

Tabla 7.9 Precio para fcr=330 Kg/cm² y agregados de Rumicucho

Material que pasa #200/arena	11,63%		Asentam (cm)	8		
Ripio triturado?	FALSO		Agua cemento	0,33		
Resistencia requerida Kg/cm ²	330					
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	249	1000	0,249	2	1	0,75
Cemento	604	50	12,080	7,5	1	102,68
Ripio triturado de Pintag	544	1185	0,459	16,37	10,5	12,34
Polvo de piedra de Pintag	816	1380	0,591	12	10,5	13,30
						129,07

Tabla 7.10 Precio para fcr=400 Kg/cm² y agregados de Rumicucho

Material que pasa #200/arena	11,63%		Asentam (cm)	8		
Ripio triturado?	FALSO		Agua cemento	0,258		
Resistencia requerida Kg/cm ²	400					
Material	CANTIDAD Kg/M³	Pus Kg/m³	V. suelto m³ /M³	Precio en mina \$/m³	Transporte \$/m³	Costo \$/M³
Agua Mezcla	244	1000	0,244	2	1	0,73
Cemento	774	50	15,480	7,5	1	131,58
Ripio triturado de Pintag	492	1185	0,415	16,37	10,5	11,16
Polvo de piedra de Pintag	738	1380	0,535	12	10,5	12,03
						155,50

Esta mezcla, en realidad no es realizable, a ningún costo, por cuanto el contenido de cemento es muy superior al permitido y la relación agua cemento es mucho menor a las analizadas $0,258 << 0,38$

Tabla 7.11 Resumen de precios unitarios

Origen	Ripio triturado	% FINOS	Resistencia prevista (Kg/cm ²)	330	400
			240		
			Precio unitario por m ³		
Pifo+San Pedro	SI	0%	\$ 86.01	\$ 98.13	\$ 107.60
Pintag,el Volcán	SI	7.80%	\$ 91.45	\$ 102.95	\$ 117.74
Rumicucho	NO	11.63%	\$ 112.43	\$ 129.07	\$ 155.50

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. Conclusiones

- En el resumen de características de los agregados, indicado en la tabla 6.1, observamos que los agregados que provienen de las minas de Cusuco y Rumicucho no cumplen las normas pertinentes en lo referente a contenido de terrones de arcilla, desgaste del agregado grueso a la abrasión y durabilidad al ataque de los sulfatos en el agregado fino, además, los agregados gruesos de estas dos minas no se ciñen a ninguna banda granulométrica, siendo las más parecidas la 57 para Cusuco y la 67 para Rumicucho. Los materiales de Pifo y Pintag, en cambio cumplen con las normas excepto en lo referente al máximo contenido de material fino que pasa por el tamiz N°200.
- La Norma ASTM C-33 permite un máximo contenido de material fino que pasa el tamiz N°200 en la arena de 3% para el uso en hormigones no sometidos a abrasión, 5% para hormigones sometidos a abrasión según tabla 1.1, y se puede tolerar hasta 7% para arenas provenientes del polvo de piedra de trituración. La instrucción EHE permite rangos mucho mayores, tanto como el 10% para áridos triturados no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición y hasta 16% para áridos calizos en las mismas condiciones de exposición (tabla 1.3). Siendo nuestros agregados no calizos, se puede tolerar según esta norma, un contenido de 10% que lo cumplen los materiales de Pifo y de Pintag.
- Solo el agregado fino de Pifo cumplió con el requisito de no sobrepasar el porcentaje máximo de material fino que pasa por el tamiz N°200 para la elaboración de

hormigones no sometidos a abrasión. De hecho, el material de Rumicucho llegó al 11.6%.

- El módulo de finura del agregado grueso de Pintag, mina El Volcán, es de 3.74, lo cual no cumple para la banda granulométrica de arena, pero si para la designación 10 de AASHTO M-43. Se trata de una arena gruesa, que mezclada en proporciones adecuadas con los otros agregados permite ceñirse a las curvas granulométricas de los 4 métodos de dosificación expuestos.
- En la tabla 2.11 se observa que el promedio de material fino que pasa el tamiz N°200, para 2 muestras de agregado fino de la mina de Pintag es de 1% para tamizado en seco. En cambio, en la tabla 2.15 del ensayo de contenido de material fino que pasa el tamiz N°200 por lavado, este valor es de 7.8%. Como a los agregados los hemos tamizado en su totalidad en seco, según el procedimiento descrito en 2.1.4 y 4.1, en realidad las fracciones que hemos separado desde N°4 a N°100 han conservado un contenido total de aproximadamente 6.8% de material fino y al que hemos considerado el agregado para el hormigón patrón. Esto explica la falta de polvo de tamaño menor que tamiz N°200 obtenido respecto al previsto para adicionar en las mezclas. Esta variación no se ha corregido por cuanto, en la disertación previa de “Influencia del Material Fino que pasa el Tamiz N°200 en la Resistencia a La Compresión del Hormigón” desarrollada por Gabriel Unda Duque, se utilizó la misma metodología para separar el material fino, y preferimos mantenerlo así para fines de comparación.
- La resistencia del hormigón con alto contenido de finos tuvo una clara tendencia a la baja, debido a lo cual, para realizar hormigones con estos materiales se requerirá mayor contenido de cemento. En la ecuación 6.5 hemos podido cuantificar la resistencia que podrá tener un hormigón para un rango de contenido de material fino

que pasa el tamiz N°200 desde el 0% al 15% y para relaciones agua cemento desde 0.38 a 0.64.

Ecuación 6.5 Ecuación potencial de resistencia vs. agua cemento y finos

$$f_{cr} = \frac{0.8 \cdot F^2 + 1060}{0.62 \cdot F + 10.1 \frac{A/C}{-}}$$

Siendo:

f_{cr} , Resistencia característica estimada (Kg/cm²)

F, Porcentaje de finos en número del porcentaje, no fracción (ej. 12.5)

A/C, Relación agua cemento.

Como dijimos anteriormente: Esto es válido para el uso de cemento portland puzolánico de clase resistente 250, para agregado grueso triturado, agregado fino del polvo de piedra, ambos de las mismas características que los empleados en este estudio, y adición de material fino que pasa por el tamiz N°200.

8.2. Recomendaciones

- Los gráficos de los procedimientos para los ensayos en los agregados y el cemento se han realizado con la finalidad de ofrecer una guía comprensiva para los estudiantes, laboratoristas y profesionales para tener una guía rápida de cómo realizar el proceso, en ningún caso sustituyen a los textos descritos en los manuales, pero puede ayudar el incorporarlos en estos, por lo que recomendamos su revisión y actualización, si es necesario
- Para realizar mezclas con datos del programa de dosificación se puede proceder de cualquiera de las siguientes maneras:
 - Tomar cantidades totales de cada lote de material, por ejemplo 700 Kg de ripio de una cantera, 500 Kg de arena de otra y 150 Kg de polvo de piedra y ajustar estos valores hasta obtener la curva más parecida a la ideal para cada método. En este caso, se mezclan los materiales tal como están.

- Realizar la división granulométrica de todos los materiales por tamizado e ingresar las cantidades aproximadas requeridas en la hoja electrónica de propiedades de los agregados, luego realizar el ajuste con los controles de desplazamiento para poder ceñirnos en forma exacta a la curva de distribución de tamaños requerida. Este método nos va a dar una curva de granulometría continua y precisa y de hecho es el que utilizamos para hacer las mezclas en esta disertación, sin embargo, es sumamente trabajoso tamizar varias toneladas de materiales petreos.
 - Formar, con lotes de materiales (tal como están), y teniendo la única precaución de realizar el cuarteo en forma cuidadosa; una curva de distribución parecida a la ideal, en la cual todos los porcentajes que pasan queden ligeramente arriba de esta curva ideal, luego agregar solo las cantidades faltantes de los tamaños que así lo requieran para obtener el mejor ajuste. Es decir que solo se tiene que tamizar para obtener el material faltante. El resultado va a ser igualmente una curva de granulometría continua y precisa pero con menos trabajo físico en el laboratorio.
- En el resumen de precios unitarios observamos:

Tabla 7.11 Resumen de precios unitarios

Origen	Ripio triturado	% FINOS	Resistencia prevista (Kg/cm ²)		
			240	330	400
Precio unitario por m ³					
Pifo+San Pedro	SI	0%	\$ 86.01	\$ 98.13	\$ 107.60
Pintag,el Volcán	SI	7.80%	\$ 91.45	\$ 102.95	\$ 117.74
Rumicucho	NO	11.63%	\$ 112.43	\$ 129.07	\$ 155.50

El precio de dosificar un 1m³ de hormigón, con materiales que contienen mayor proporción de material fino que pasa el tamiz N°200, es mas caro que utilizar los materiales mas limpios, debido al mayor consumo de cemento, por lo que recomendamos usar estos últimos. Esto compensa el mayor costo de los agregados.

CAPÍTULO 9

ANEXOS.

9.1. ANEXO 1 Fórmula módulo granulométrico

Se define como módulo granulométrico a la suma de los porcentajes retenidos acumulados de material, desde el tamaño máximo del agregado, hasta un tamaño mínimo establecido, dentro de una serie de tamices que guarden una razón geométrica de tamaños de abertura determinada. Normalmente se utiliza la serie de Tyler o aquella enunciada por las normas locales.

Generalmente al tamaño máximo se considera como al del agregado grueso de mayor tamaño de aquellos entre los que se va a realizar una mezcla de agregados. Por ejemplo si vamos a mezclar materiales AASHTO T-27 de designación piedra N°3, N°5 y N°7, el tamaño máximo del agregado será el del más grueso, en este caso 50.8 mm (2 pulgadas) correspondiente a piedra N°3.

El tamaño mínimo se lo establece en 0.149 mm (tamiz N°100), debido a que es el tamaño mínimo de grano de arena que puede ser tamizado en seco de forma práctica.

La razón geométrica suele ser de $\frac{1}{2}$, es decir que los tamaños válidos para calcular el módulo granulométrico pueden ser por ejemplo para una grava de 38.1 mm de tamaño máximo, los siguientes: 38.1, 19.05, 9.52, 4.76, 2.38, 1.19, 0.595, 0.297 y 0.149 mm (correspondientes a $1\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100).

Si el tamaño máximo de un material es por ejemplo $2\frac{1}{2}$ ", 2", 1"ó $\frac{1}{2}$ ", observamos que no se encuentra dentro de la serie anterior; asimismo, si no se dispone de los tamices en razón de tamaños de $\frac{1}{2}$, el resultado de sumar directamente los porcentajes retenidos acumulados será incoherente, para subsanar esto se puede

interpolarse en la curva de granulometría estos porcentajes, o darles un peso de acuerdo a la relación entre tamaños contiguos de la serie.

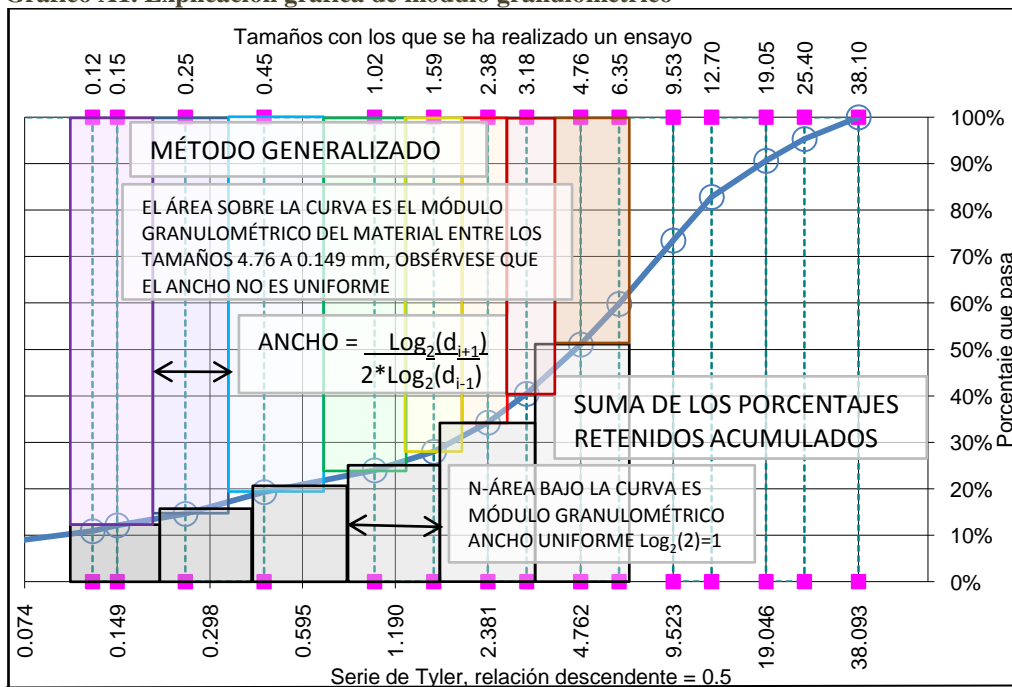
Por ejemplo para calcular el módulo granulométrico desde tamaño N°4 al N°100.

Tabla A1 Distribución de tamaños de un material

Tamices pulg.	mm	Masa retenida parcial	%retenido parcial	%retenido acumulado	%pasa	Interpolación serie Tyler	%retenido acumulado
1 1/2 "	38.100	0	0.0%	0.0%	100.0%		
1 "	25.400	150	4.7%	4.7%	95.3%		
3/4 "	19.050	150	4.7%	9.3%	90.7%		
1/2 "	12.700	250	7.8%	17.1%	82.9%		
3/8 "	9.525	300	9.3%	26.5%	73.5%		
1/4 "	6.350	440	13.7%	40.2%	59.8%		
N°4	4.763	280	8.7%	48.9%	51.1%	4.763	48.9%
N°6	3.175	340	10.6%	59.5%	40.5%		
N°8	2.381	200	6.2%	65.7%	34.3%	2.381	65.7%
N°12	1.588	200	6.2%	72.0%	28.0%	1.191	74.6%
N°20	1.020	130	4.0%	76.0%	24.0%		
N°40	0.446	150	4.7%	80.7%	19.3%	0.595	79.1%
N°60	0.248	150	4.7%	85.4%	14.6%	0.298	83.9%
N°100	0.149	80	2.5%	87.9%	12.1%	0.149	87.9%
N°120	0.124	40	1.2%	89.1%	10.9%		
Bandeja	0.007	350	10.9%	100.0%	0.0%		
Suma		3210	Suma	5.76	Módulo granulométrico		4.40

Observamos que la suma de porcentajes retenidos acumulados no coincide con la suma de los valores interpolados de la serie de Tyler, esto se debe a que tenemos 8 valores en lugar de 6. Si corregimos estos 8 valores por un “ancho” de acuerdo a la relación de tamaños tendremos algo más consistente.

Gráfico A1. Explicación gráfica de módulo granulométrico



En el gráfico observamos que el módulo granulométrico está representado por el área sobre la curva granulométrica, los valores de porcentaje retenido acumulado con los tamaños originales están representados en escala de colores. Bajo estas barras está representado el porcentaje que pasa (100% - %retenido), considerando las aberturas de la serie de Tyler, en escala de grises. El número de intervalos entre mallas de relación ½ es de 6, y en el otro caso entre mallas arbitrarias, de 8. El área de las barras sobre la curva y el área 100% x Número_de_intervalos – área_bajo_la_curva son aproximadamente iguales, compensando sus traslapes.

El ancho de cada barra entonces será:

$$B_i = \frac{1}{2} \cdot \text{Log}_2 \frac{d_{i-1}}{d_{i+1}} \quad \text{Siendo: } B_i \text{ “ancho” (adimensional)}$$

d_{i-1} , Tamaño inmediatamente superior en la serie considerada.

d_{i+1} , Tamaño inmediatamente inferior en la serie considerada.

Convirtiendo a logaritmos naturales:

$$B_i = \frac{1}{2 \cdot \ln 2} \cdot \ln \frac{d_{i-1}}{d_{i+1}}$$

De esta manera, el módulo granulométrico será la suma de los productos del ancho por los porcentajes retenidos acumulados:

$$MG = \sum_{i=1}^n \frac{1 - P_i}{2 \cdot \ln(2)} \cdot \ln \left(\frac{d_{i-1}}{d_{i+1}} \right) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Siendo:

MG, Módulo granulométrico

n, Número de tamices

P_i , Fracción de material i que pasa por la malla de apertura d_i

Nótese que d_1 y d_n son tamaños máximo y mínimo considerados, respectivamente.

Esto lo hemos automatizado con una función cuyos argumentos son:

MG, Módulo granulométrico

Tams, Matriz de los tamaños, rango vertical de tamaños en mm.

RAs, Matriz de porcentajes o fracciones retenidos acumulados, rango vertical

SUP, Tamaño máximo establecido para compatibilidad de comparaciones

Inf, Tamaño mínimo, generalmente 0.16mm en Fuller y 0.148mm en los otros métodos.

El código es el siguiente:

```
Function MG(Tams, RAs, SUP, inf, t100)
MG = 0: k = 0: lon = RAs.Rows.Count: lon2 = Tams.Rows.Count
If lon > lon2 Then lon = lon2
Dim rIs(30)
r100 = DiscInt(Tams, RAs, t100)
If r100 < 0 Then r100 = 0
For i = 1 To lon
  If IsNumeric(RAs(i)) Then rIs(i) = (RAs(i) - r100) / (1 - r100)
  If rIs(i) > 1 Then k = k + 1
Next i
For i = 1 To lon
  If RAs(i) <> "" And Tams(i) <> "" And Tams(i) > 0 And RAs(i) <= 1 Then
Exit For
Next: prim = i
For i = lon To prim Step -1
  If RAs(i) <> "" And Tams(i) <> "" And Tams(i) > 0 Then Exit For
Next: lon = i
If SUP >= Tams(prim) Then
  izq = prim: CIS = prim
Else
  For i = prim To lon - 1
    If Tams(i) > SUP And Tams(i + 1) <= SUP Then
      izq = i: CIS = i + 1
    End If
  Next
End If
If inf <= Tams(lon) Then
  der = lon: CIF = lon
Else
  For i = lon To prim + 1 Step -1
    If Tams(i) < inf And Tams(i - 1) >= inf Then
      der = i: CIF = i - 1
    End If
  Next
End If
Rasup = inter(Log(SUP), Log(Tams(izq)), Log(Tams(izq + 1)), rIs(izq),
rIs(izq + 1))
Raizq = inter(Log(Sqr(2) * SUP), Log(Tams(izq)), Log(Tams(izq + 1)),
rIs(izq), rIs(izq + 1))
If Rasup < 0 Then Rasup = 0
If Raizq < 0 Then Raizq = 0
Rainf = inter(Log(inf), Log(Tams(der)), Log(Tams(der - 1)), rIs(der),
rIs(der - 1))
Rader = inter(Log(inf / Sqr(2)), Log(Tams(der)), Log(Tams(der - 1)),
rIs(der), rIs(der - 1))
If Rainf > 1 Then Rainf = 1
If Rader > 1 Then Rader = 1
MG = MG + (Raizq + Rasup + Rainf + Rader) / 4
If CIS < lon Then MG = MG + Log(SUP / Tams(CIS)) * (Rasup + rIs(CIS)) / 2 /
Log(2)
If CIF > CIS Then MG = MG + Log(Tams(CIF) / inf) * (rIs(CIF) + Rainf) / 2 /
Log(2)
```

```

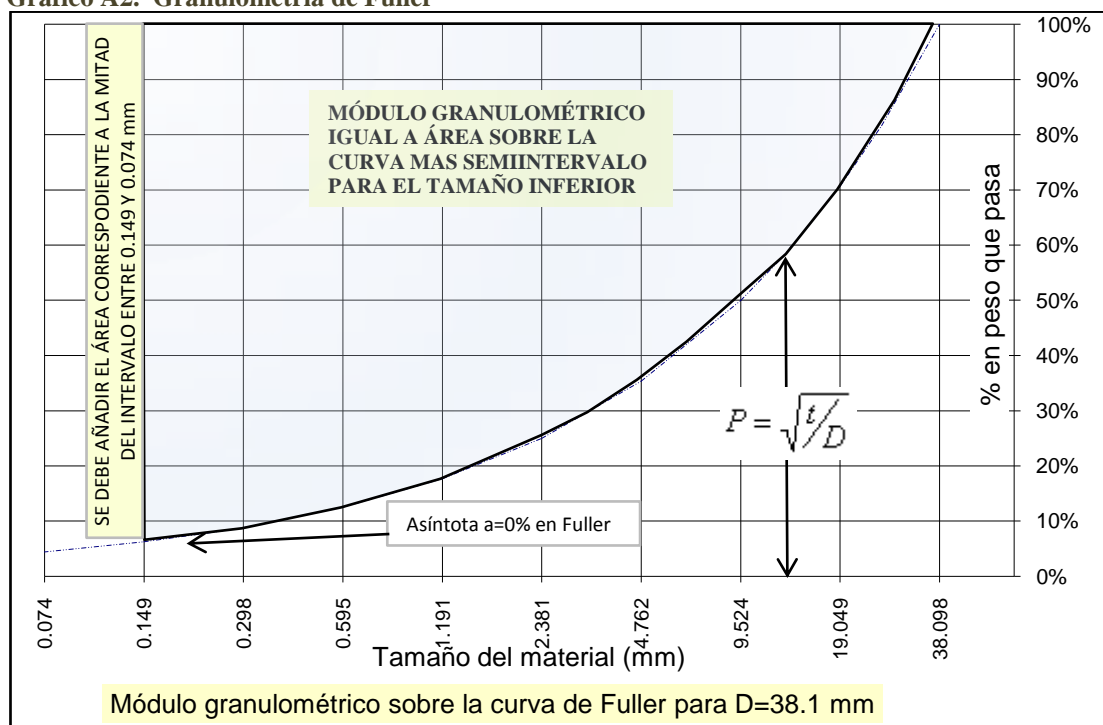
For i = CIS To CIF - 1: MG = MG + Log(Tams(i) / Tams(i + 1)) * (rIs(i) +
rIs(i + 1)) / 2 / Log(2): Next
End Function

```

9.2. ANEXO 2 Valor del módulo granulométrico teórico de Fuller

Para realizar ajuste de mezcla de agregados en el método de Fuller, necesitamos el módulo granulométrico de un material de tamaño máximo D y mínimo d, que cumpla con la distribución parabólica de Fuller. Siendo la distribución como en el siguiente gráfico:

Gráfico A2. Granulometría de Fuller



El número de intervalos será: $n = \frac{\ln D/d}{\ln 2}$ Siendo:

D: Tamaño máximo del agregado

d: Tamaño mínimo, generalmente 0.149 mm

Entonces la abscisa será: $x = n - \frac{\ln D/t}{\ln 2}$ Siendo t el tamaño correspondiente a x

Despejando $t = D \cdot \frac{e^{x \cdot \ln 2}}{e^{n \cdot \ln 2}}$, reemplazando en $P = \sqrt{t/D}$: $P = \frac{e^{x \cdot \frac{\ln 2}{2}}}{e^{n \cdot \frac{\ln 2}{2}}}$

Introduciendo $c = n - \frac{\ln 2}{2}$ nos queda $P = \frac{e^{c \cdot x}}{h}$

Como el módulo granulométrico es el área sobre la curva, este se refiere a 1-P, por tanto se establece en:

$$MG = \int_0^n \left(1 - \frac{e^{-c \cdot x}}{d}\right) = n - \frac{1}{h} \cdot \int_0^n e^{-c \cdot x} = n - \frac{1}{h} \cdot \left[\frac{e^{-c \cdot x}}{c} \right]_0^n = n - \frac{e^{-\frac{n \cdot \ln 2}{2}} - 1}{e^{-\frac{n \cdot \ln 2}{2}} \cdot \frac{\ln 2}{2}}$$

Reemplazando n y simplificando el segundo término:

$$MG = \frac{\ln D/d - 2}{\ln 2} \cdot \frac{\sqrt{D/d} - 1}{\sqrt{D/d} \cdot \ln 2} = \frac{\ln D/d - 2 + \sqrt{d/D}}{\ln 2}$$

A esto le añadimos la mitad de la fracción retenida acumulada en la malla d:

$$MG = V = \frac{\ln D/d - 2 + \sqrt{d/D}}{\ln 2} + \frac{1 - \sqrt{d/D}}{2} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Con lo que podemos calcular el módulo granulométrico teórico de Fuller para realizar mezclas de agregados.

9.3. ANEXO A3 Agua neta método ACI

El objetivo es hallar una expresión, la cual nos permita calcular el agua necesaria para la mezcla, a partir de la tabla 6.3.3 de ACI 211.1:

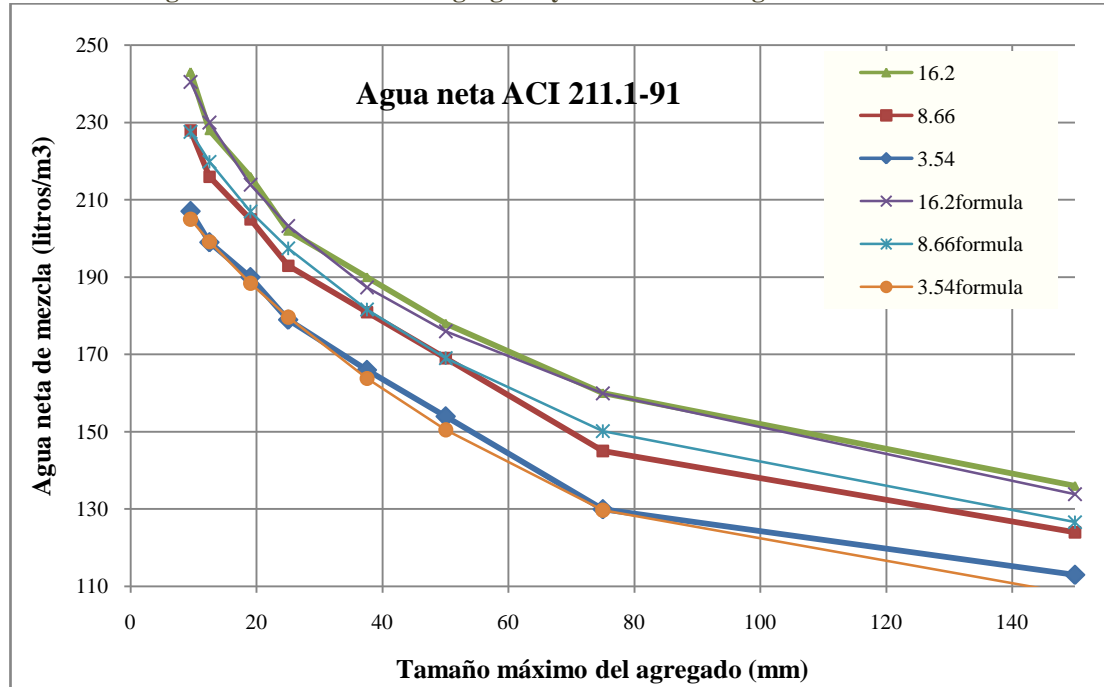
Tabla 4.3 Agua neta en función de TMA

ACI 211.1 Tabla 6.33 transformada a sistema métrico(American Concrete Institute, 1995)

Agua en Kg/m ³ de hormigón para TMAs indicados de agregado triturado											
Asentamiento, cm		D, mm	9.53	12.7	19.1	25.4	38.1	50.8	76.1	152	
min	MAX	Prom	Hormigón sin aire incluido								air=FALSO
2.54	5.08	3.59	208	199	187	178	163	154	130	113	
7.62	10.2	8.80	228	217	202	193	178	169	145	125	
15.24	17.8	16.46	243	228	214	202	187	178	160	140	
Aire atrapado, %			3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	0.5%	0.3%	0.2%	
min	MAX	Prom	Hormigón con aire incluido								Ait=VERDADERO
2.54	5.08	3.59	181	175	166	160	148	142	122	107	
7.62	10.2	8.80	202	193	181	175	163	157	133	119	
15.24	17.8	16.46	217	205	193	184	172	166	154	135	
Aire incluido según nivel exposición, %	Baja		4.5%	4.0%	3.5%	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	
	Moderada		6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.5%	4.0%	3.5%	3.0%	
	Extrema		7.5%	7.0%	6.0%	6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.0%	

Hemos preferido transformar la tabla 6.3.3 a sistema métrico en lugar de utilizar la tabla A1.5.3.3, ya que existen ligeras diferencias, y esta primera nos da curvas más continuas. El gráfico para hormigón sin aire incluido será el siguiente:

Gráfico A3. Agua neta vs. tamaño del agregado y asentamiento según ACI.



La tendencia para la curva intermedia de asentamiento $\Delta = 8.8\text{cm}$ puede ser logarítmica, polinómica, exponencial o una combinación de estas. La fórmula logarítmica nos daría valores muy altos para tamaños de agregado reducidos, analizando una combinación entre una fórmula cuadrática y logarítmica tenemos que la expresión puede ser de la forma: $An = a \cdot \ln(D) + b \cdot D^2 + c \cdot \sqrt{D} + m$ de la cual deduciremos los coeficientes a, b, c y m, empleando SOLVER de Excel, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla A.2 Expresión polinómica logarítmica para el agua según ACI

ecuacion logarítmica y cuadratica		An=a*ln(D)+b*D^2+c*vD+m								
An=(-2.335Δ+ .471)*ln(D)+(-.000358Δ+.00615)*D^2+(.0976Δ-1.662)*D+42.3*vΔ+155		9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150	
3.54	a	-7.444	b	0.00495	c	-1.3204	m	234.742		Tabla ACI
		207	199	190	179	166	154	130	113	Form con a,b,c,m
		205.887	200.21	189.525	180.868	165.216	151.988	131.443	110.863	sumacuad -13.7878
		-2.0	0.2	-1.6	0.6	-2.2	-3.5	-0.3	-5.0	ln(D)
		-17.525	-19.661	-22.921	-25.057	-28.214	-30.453	-33.609	-39.005	D^2
		0.44083	0.76321	1.76333	3.05285	6.86892	12.2114	27.4757	109.903	D
		-12.507	-16.456	-25.014	-32.913	-49.369	-65.825	-98.738	-197.48	ind
		234.559	234.559	234.559	234.559	234.559	234.559	234.559	234.559	Valor calculado
		205.0	199.2	188.4	179.6	163.8	150.5	129.7	108.0	
8.66	a	-20.321	b	0.00293	c	-0.8101	d	279.137		Tabla ACI
		228	216	205	193	181	169	145	124	Form con a,b,c,m
		225.957	218.143	204.97	195.306	179.232	166.467	147.14	121.786	sumacuad 18.25738
		-0.4	3.9	1.9	4.4	0.6	0.0	5.1	2.7	ln(D)
		-44.465	-49.885	-58.155	-63.575	-71.583	-77.265	-85.273	-98.964	D^2
		0.27523	0.47651	1.10094	1.90606	4.28863	7.62423	17.1545	68.618	D
		-7.7561	-10.205	-15.512	-20.411	-30.616	-40.822	-61.232	-122.46	ind
		279.5	279.5	279.5	279.5	279.5	279.5	279.5	279.5	Valor calculado
		227.6	219.9	206.9	197.4	181.6	169.0	150.1	126.7	
16.2	a	-37.129	b	0.0004	c	-0.0832	d	325.457		Tabla ACI
		243	228	216	202	190	178	160	136	Form con a,b,c,m
		241.113	230.7	214.694	204.109	188.325	177.038	161.144	135.873	sumacuad -8.43424
		-2.6	2.0	-2.1	1.2	-2.7	-2.0	-0.1	-2.1	ln(D)
		-84.109	-94.362	-110.01	-120.26	-135.41	-146.15	-161.3	-187.2	D^2
		0.03154	0.0546	0.12616	0.21842	0.49144	0.87366	1.96574	7.86297	D
		-0.765	-1.0065	-1.5299	-2.0131	-3.0196	-4.0262	-6.0392	-12.078	ind
		325.277	325.277	325.277	325.277	325.277	325.277	325.277	325.277	Valor calculado
		240.4	230.0	213.9	203.2	187.3	176.0	159.9	133.9	

Que nos proporciona un resultado dentro de ±5 litros/m³ de error con respecto a la tabla. Los coeficientes a, b, c y m serán variables con el asentamiento, a, b y c obedecen a un comportamiento aproximadamente lineal y m, a cuadrático.

Se los ha calculado mediante análisis de los mínimos cuadrados como sigue:

Tabla A3. Valores coeficiente a

Δ	Valor	Fórmula	Diferencia	
a Lineal	e pendiente	-2.335	f ordenada	0.471
3.54	-7.4440	-7.7845	0.116	
8.66	-20.3214	-19.7507	0.326	
16.20	-37.1292	-37.3603	0.053	
			0.495	

$$a = e \cdot \Delta + f$$

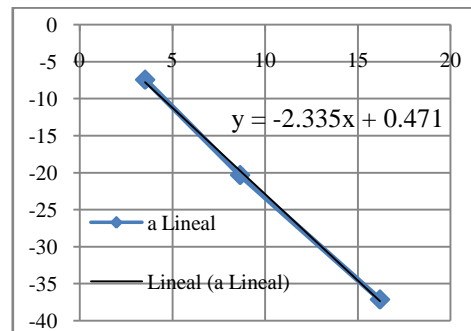


Tabla A4. Valores coeficiente b

Δ	Valor	Fórmula	Diferencia	
b Lineal	g pendiente	-0.000358	h ordenada	0.00615
3.54	0.004955	0.004885	4.91E-09	
8.66	0.002933	0.003050	1.37E-08	
16.20	0.000398	0.000349	2.31E-09	
		Suma difer	2.09E-08	

$$b = g \cdot \Delta + h$$

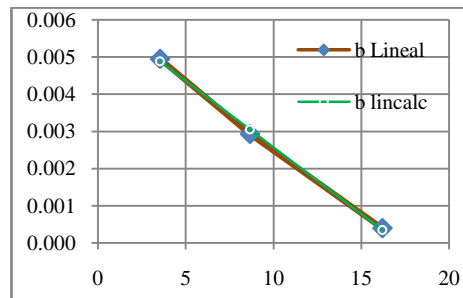


Tabla A5. Valores coeficiente c

Δ	Valor	Fórmula	Diferencia	
c Lineal	i pendiente	0.0976	j orden	-1.6615
3.54	-1.3204	-1.3165	1.51E-05	
8.66	-0.8101	-0.8164	4.04E-05	
16.20	-0.0832	-0.0805	7.43E-06	
			6.30E-05	

$$c = i \cdot \Delta + j$$

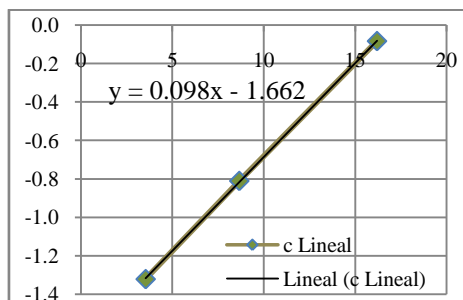
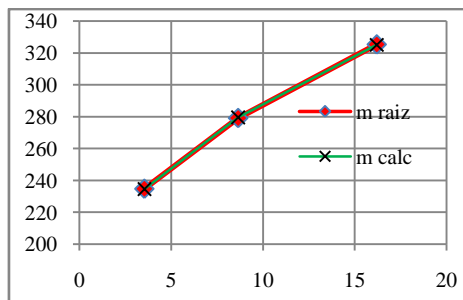


Tabla A6. Valores coeficiente m

Δ	Valor	Fórmula	Diferencia	
m raiz	k raiz	42.2955	l ordenada	155.03
3.54	234.74	234.56	0.033	
8.66	279.14	279.50	0.131	
16.20	325.46	325.28	0.032	
			0.197	

$$m = k \cdot \sqrt{\Delta} + l$$



Siendo la fórmula original:

$$An = a \cdot \ln D + b \cdot D^2 + c \cdot D + m$$

Al incorporar la influencia del asentamiento, representada por las fórmulas que definen los coeficientes a, b, c y m nos queda:

$$An = 0.47 - 2.34 \cdot \Delta \cdot \ln D + \frac{62 - 3.58 \cdot \Delta}{10000} \cdot D^2 + 0.098 \cdot \Delta - 1.66 \cdot D + 42.3 \cdot \sqrt{\Delta} + 155$$

Sin embargo, esta fórmula es muy extensa y engorrosa, así que recurrimos a un modelo para curva decreciente del tipo:

$$An = a + \frac{b}{D^c}$$

intermedia de asentamiento $\Delta=8.8\text{cm}$ según la siguiente tabla:

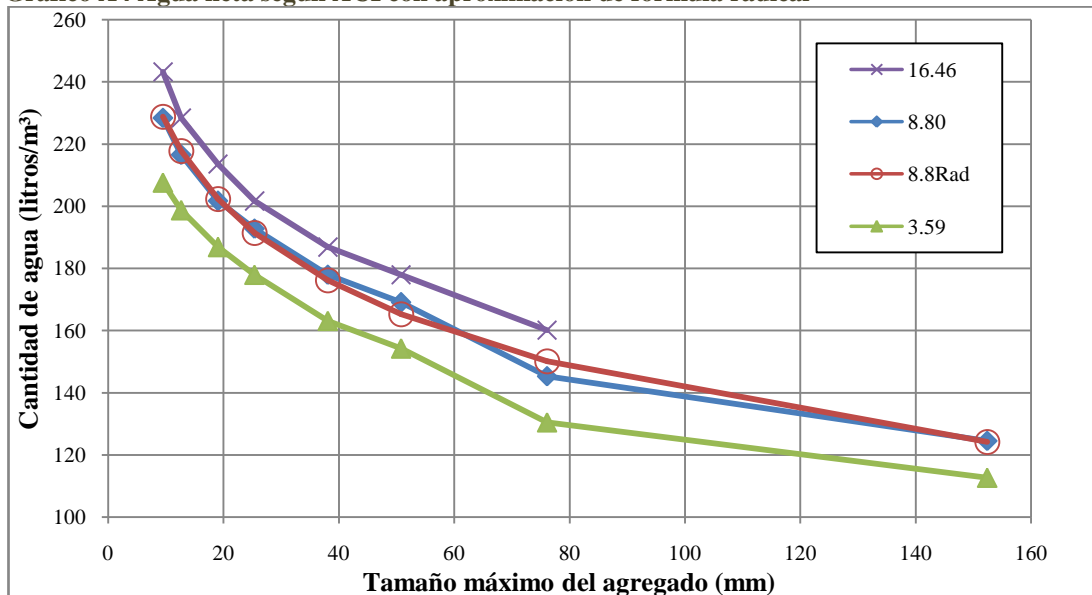
Tabla A7. Cálculo de los coeficientes para fórmula exponencial o radical

Agua neta para Δ=8.8 ACI sin aire				
Num	3890.506			
Rad	99.548			
Término	-3574.66			
D	8.8Rad	Tabla	SqDif	RadSimp
9.525	228.7	228.4	0.1386	228.303
12.7	217.8	216.5	1.588	217.377
19.05	202.4	201.7	0.4544	202.032
25.4	191.5	192.8	1.7628	191.182
38.1	176.1	178.0	3.2646	175.942
50.8	165.3	169.1	13.935	165.167
76.1	150.2	145.3	23.434	150.081
152.4	124.3	124.6	0.0856	124.302
Suma cuad diferencia			44.663	

Una vez hallados el numerador, grado del radical y término independiente, aproximamos estos valores y la ecuación nos queda en:

$$An = \frac{3890.5}{99.5\sqrt{D}} - 3575 \approx \frac{3890}{D^{0.01}} - 3575$$

Gráfico A4 Agua neta según ACI con aproximación de fórmula radical



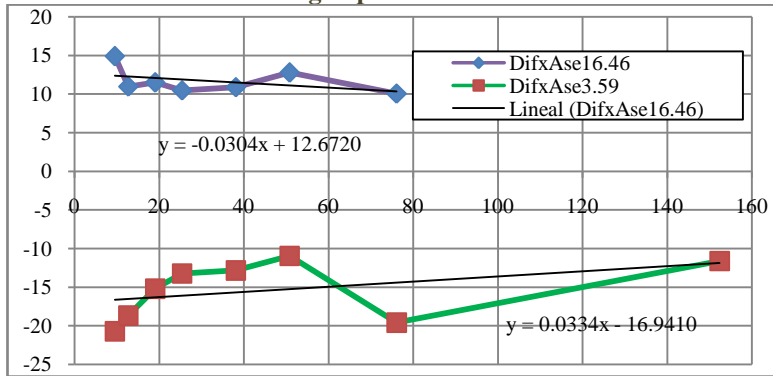
A continuación, observamos la diferencia de agua por efecto del asentamiento, desde el valor original en la tabla al valor calculado con la ecuación anterior y determinamos una función para incluir al asentamiento.

Tabla A8. Diferencia de agua por asentamiento

Diferencia por asentamiento	Δ cm	9.53	12.7	19.1	25.4	38.1	50.8	76.1	152	Prom
	16.46	14.9	11	11.5	10.5	10.9	12.8	10.1		11.667
	8.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.59	-20.7	-18.7	-15.2	-13.2	-12.8	-10.9	-19.6	-11.6	-15.3

En el siguiente gráfico observamos como difiere el requerimiento de agua neta para los asentamientos de 16.46 y 3.59cm, respecto a 8.80cm.

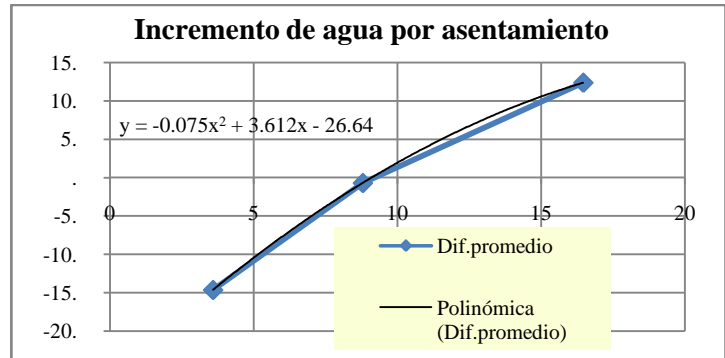
Gráfico A5 Diferencia de agua por asentamiento



Las curvas tienen una forma de “osa mayor”, por lo que su ajuste con una función continua podría ser únicamente con una función polinómica de alto grado, o con menor aproximación, las rectas con las ecuaciones indicadas. Sin embargo, al elegir una diferencia constante (rectas horizontales), no se pierde mucha precisión, razón por la cual elegimos a los promedios como punto de partida. Con esos promedios realizamos una función para el agua adicional requerida con otros asentamientos. El ajuste se dará muy cómodamente con una función del tipo ax^2+bx+c :

Tabla A9. Agua a añadir o reducir por asentamiento

Función del tipo ax^2+bx+c		
	a=	-0.075
	b=	3.6
	c=	-26.6
Δ	Dif.promedio	Func.Cuadrática
22		16.30
16.46	12.4	12.34
8.80	-0.7	-0.73
3.59	-14.6	-14.64
0		-26.60



Entonces al agua neta se incrementará $-0.075 \cdot \Delta^2 + 3.6 \cdot \Delta - 26.6$ litros, con lo que la

ecuación para agua neta será: $An = \frac{3890}{D^{0.01}} - 3601.6 - 0.075 \cdot \Delta^2 + 3.6 \cdot \Delta$ Siendo:

An: Agua neta en litros/m³, con aproximación en ± 5 litros/m³

D: Tamaño máximo del agregado en mm.

Δ : Asentamiento en cm.

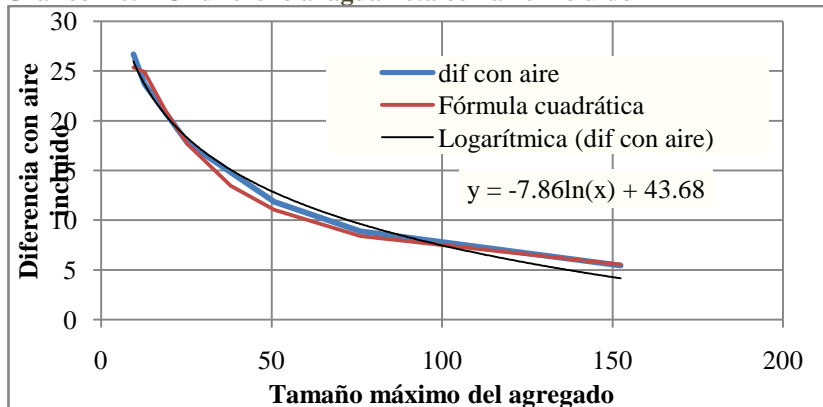
En la segunda parte de la tabla 4.3 (ACI 211.1 6.3.3) tenemos las cantidades de agua para hormigón con aire incluido cuyas diferencias respecto a la función anterior son:

Tabla A10. ACI diferencia agua neta con aire incluido

a	-2554	Tamaño máximo	9.525	12.7	19.05	25.4	38.1	50.8	76.1	152.4
b	486.4	Dif. Prom. aire incluido	26.69	23.73	20.76	17.80	14.83	11.86	8.90	5.45
c	2.461	Diferencia máxima	26.7	23.7	20.8	17.8	14.8	11.9	11.9	5.9
		Diferencia mínima	26.7	23.7	20.8	17.8	14.8	11.9	5.9	4.5
aD ² +bD+c		Fórmula cuadrática	25.38	24.93	20.96	17.65	13.47	11.05	8.41	5.54
Suma cuadrados	5.915	Cuadrados diferencia	1.734	1.437	0.038	0.020	1.852	0.667	0.164	0.002
43.75-7.93*LN(D)		logaritmica	25.88	23.60	20.38	18.10	14.88	12.60	9.40	3.89
44-8*LN(D)		log aproximada	25.97	23.67	20.42	18.12	14.88	12.58	9.34	3.79

La diferencia promedio es el promedio de la resta entre cada valor de agua neta en hormigón sin aire incluido, con su correspondiente para hormigón con aire incluido, las diferencias máximas y mínimas son iguales para todos los asentamientos dentro de los tamaños desde 9.53 a 50.8mm, con variación para los tamaños superiores a 50.8mm.

Gráfico A6. ACI diferencia agua neta con aire incluido



Planteamos dos criterios: cuadrático del tipo $DifAir = aD^2 + bD + c$ y logarítmico del tipo $DifAir = a - b \cdot \ln(D)$ y preferimos este último por requerir menos constantes. Una vez halladas estas constantes a y b, verificamos que al redondear sus valores no se altera sensiblemente el resultado, por lo que la diferencia de agua entre tener aire incluido en el hormigón y no tenerlo es:

$$DifAir = 7.93 \cdot \ln(D) - 43.75 \quad \text{ó aproximadamente} \quad DifAir = 8 \cdot \ln(D) - 44$$

Estableciéndose la expresión en:

Ecuación 4.1 Agua neta ACI

$$An = \frac{3890}{D^{0.01}} - 3602 - 0.075 \cdot \Delta^2 + 3.6 \cdot \Delta + aire \cdot (8 \cdot \ln(D) - 44)$$

Siendo:

An, Agua neta en litros/m³

Δ, Asentamiento requerido, en cm

D, Tamaño máximo del agregado, en mm y

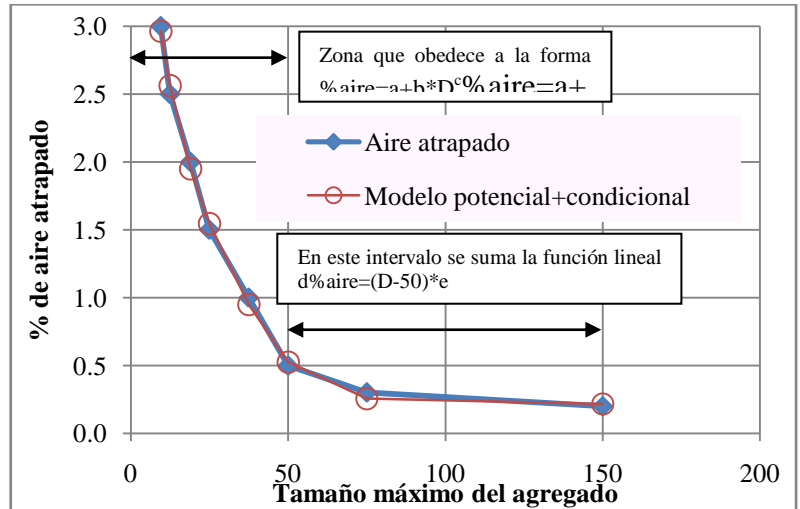
aire?, Es hormigón con aire incluido? (0= falso, 1= verdadero)

9.4. ANEXO 4 Cálculo del volumen de aire atrapado según ACI

De la tabla 6.3.3 de ACI 211.1 deduciremos una expresión para calcular el aire atrapado en hormigón sin aire incluido.

Tabla A11. Aire atrapado en función de tamaño máximo del agregado

Modelo potencial+condicional			
	a		237.4
	b		-231.2
	c		0.00623
Aire atrapado			
D (mm)	%aire atrapado	Cuadrado diferencia	
Tabla	Fórmula		
9.5	3.0	2.964	0.00126
12.5	2.5	2.563	0.00398
19	2.0	1.949	0.00257
25	1.5	1.546	0.00213
37.5	1.0	0.949	0.00257
50	0.5	0.525	0.00062
75	0.3	0.255	0.00199
150	0.2	0.217	0.00029
Suma de cuadrados			0.01313



En el gráfico observamos que la tendencia es potencial desde 9.5 a 50 mm de tamaño del agregado, entonces la curva se “levanta” desde los 50 mm, por lo cual hemos optado por una combinación de ecuación potencial de tipo $\%aire = a + b * D^c$, a la cual se le agrega condicionalmente una función lineal de la forma $\delta\%aire = (D - 50) * e$, que regirá para valores de D iguales o superiores a 50 mm. Así tendremos:

$$\%aire = a + b * D^c \quad \text{que reemplazando a, b y c} \quad \%aire = 237.4 - 231.2 * D^{0.006233}$$

a lo que se sumará $\delta\%aire = (D - 50) * e$ siendo en $e = 0.0132$ el mejor ajuste.

Ecuación A1. Porcentaje de aire atrapado según ACI

$$\%aire = 237.4 - 231.2 * D^{0.006233} + si(D > 50) * (D - 50) * 0.0132 \quad \text{Siendo:}$$

%aire: Porcentaje de aire atrapado para hormigón sin aire incluido y

D: Tamaño máximo del agregado.

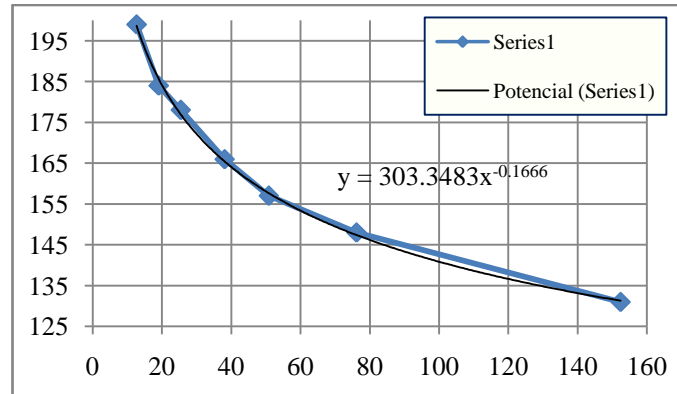
Obsérvese que en el tercer término, el valor de $si(D > 50)$ es 1 si es verdadero y 0 si es falso.

9.5. ANEXO 5 Agua neta método de Fuller

Al analizar la tabla 4.8 en 4.2.2.3 observamos que su tendencia es potencial, y esto nos permite obtener una curva de la forma $An=a \cdot D^b$ como se muestra:

Tabla A12. Agua neta método de Fuller

D,mm	Tabla	Potencial	Diferencia
12.7	199	198.60	-0.20%
19.1	184	185.55	0.84%
25.4	178	176.94	-0.60%
38.1	166	165.38	-0.37%
50.8	157	157.64	0.41%
76.2	148	147.35	-0.44%
152.4	131	131.28	0.21%



La curva de tendencia será: $An = 303.35 \cdot D^{-0.1667} = \frac{303.3}{\sqrt[6]{D}}$ Siendo:

An: Agua neta en litros/m³, para hormigón con agregados rodados.

D: Tamaño máximo del agregado.

“La tabla 4.8 es válida para mezclas que cumplan con relación a/c= aprox. 0.57 y asiento en cono de Abrams=76 mm.” (García Andren, 2009). “Observamos que cuando se emplea agregado grueso triturado, hay que incrementar 15 litros/m³, adicionalmente: para arenas artificiales con cantos vivos (polvo de piedra) incrementar 6.8 l/m³. Por cada 25.4 mm adicionales de asentamiento, incrementar 3% de agua. Y si no se requiere trabajabilidad (ej. Pavimentos rígidos) reducir 3.6 l/m³” (Giraldo Bolivar, 2014).

Corrigiendo por asentamiento tendremos:

$$An = \frac{303.3}{\sqrt[6]{D}} \cdot \left(1 + 0.03 \cdot \frac{\Delta - 7.62}{2.54} \right) = \frac{3.582 \cdot \Delta + 276}{\sqrt[6]{D}}$$

Y agregando las otras consideraciones:

Ecuación 4.9 Cantidad de agua neta

$$A_N = \frac{3.582 \cdot \Delta + 276}{\sqrt[6]{D}} + 15 \cdot G_T + 6.8 \cdot F_T - 3.6 \cdot Seco \quad \text{Siendo:}$$

AguaNeta: Cantidad de agua sin considerar absorción (l/m³)

Δ : Asentamiento (cm)

D: Tamaño máximo del agregado (mm)

Gt?: Es el agregado grueso triturado? (verdadero=1, falso=0)

Ft? : Es el agregado fino triturado? (verdadero=1, falso=0)

Seco?: Es hormigón de baja trabajabilidad? (verdadero=1, falso=0)

9.6. ANEXO 6 Agua de mojado Bolomey

Como habíamos manifestado en 4.2.3, para determinar la cantidad total de agua que mojará con un espesor uniforme *esp*, a una mezcla de áridos cuya distribución de tamaños cumpla con la curva de Bolomey, debemos calcular la superficie total del agregado que será mojada y asumiendo un espesor de película de agua constante *esp*, multiplicarlo por este. Como vimos en 4.2.3, la fracción que pasa por el tamaño *t* es:

$$Y = a + (1 - a) \cdot \sqrt{t/D}$$

Ecuación 4.10(Giraldo Bolivar, 2014). Siendo:

t: Cada uno de los tamaños considerados para distribución granulométrica.

D: Tamaño máximo del agregado (mismas unidades que d).

Y: Fracción del total de agregado que pasa por cada tamiz d.

a: Coeficiente de Bolomey, fracción del espacio no llenado con áridos.

La fracción retenida acumulada R_A será: $R_A = 1 - Y = (1 - a) \cdot \left(1 - \sqrt{t/D}\right)$

Entonces la diferencia retenida parcial Q , para un tamaño *t*, y considerando un número infinito de tamices es: $Q = \frac{dR_A}{dt} = \frac{a - 1}{\sqrt{t \cdot D}}$

El área y volumen de una partícula de diámetro equivalente t_E son:

$$A = \frac{\pi \cdot t_E^2}{\phi} \quad \text{y} \quad V = \frac{\pi \cdot t_E^3}{6} \quad \text{Siendo:}$$

A= Área superficial de la partícula

V= Volumen de una partícula

t_E = Diámetro equivalente de una partícula esférica de igual volumen que la real.

ϕ = Esfericidad, relación entre la superficie que tendría una esfera del mismo volumen que la partícula y la superficie real de la partícula.

El número de partículas contenidas en dR_A/dt es: $N = \frac{dR_A}{dt} \cdot \frac{1}{V} = \frac{6 \cdot Q}{\pi \cdot t_E^3}$

Por tanto, al agua de mojado unitaria dW/dt en un intervalo dt , para un tamaño $t \approx t_E$ será el producto del número de partículas por su área y por el espesor de mojado esp :

$$\frac{dW}{dt} = \frac{6 \cdot \left(\frac{1}{\phi} - 1 \right) \cdot esp}{\phi \cdot t^{3/2} \cdot \sqrt{D}}$$

Entonces integramos para obtener el agua total de mojado

desde el tamaño máximo D , hasta el tamaño mínimo d_{\min} , generalmente 0.16mm:

$$W = \frac{6 \cdot \left(\frac{1}{\phi} - 1 \right) \cdot esp}{\phi \cdot \sqrt{D}} \cdot \int_D^{d_{\min}} t^{-3/2} \cdot dt = \frac{12 \cdot \left(\frac{1}{\phi} - a \right) \cdot esp}{\phi \cdot \sqrt{D}} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{t}} \right]_{t=D}^{d_{\min}}$$

$$W = \frac{12 \cdot \left(\frac{1}{\phi} - a \right) \cdot esp}{\phi \cdot \sqrt{D}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{\min}}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right) \quad \text{Ecuación 4.14 Agua mojado, capa uniforme}$$

Expresión que nos permite conocer la fracción de agua por volumen unitario de mezcla de agregados que los mojará con un espesor constante de película de agua.

9.7. ANEXO 7. Relación agua cemento

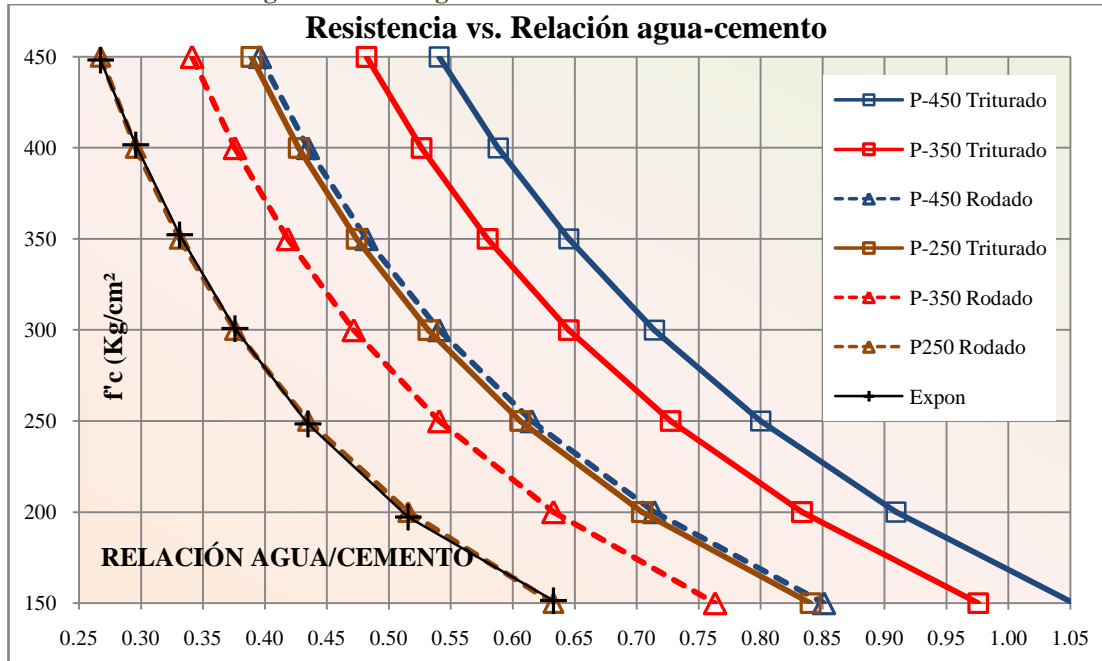
Como hemos visto en 4.2.1.4, la máxima relación agua cemento permitida depende de la resistencia requerida, la naturaleza del agregado grueso (rodado o triturado), la clase resistente del cemento y si el hormigón se elabora con aire incluido. En la siguiente tabla resumimos los requisitos de la tabla ACI 211.1 a1.5.3.4(a) y la de los cementos de las clases resistentes P-250 a P-450 según DIN.

Tabla A13 Relación agua cemento según ACI y clase resistente del cemento

rAC Relación Agua/Cemento peso			Según DIN para las clases resistentes de cemento					
Tabla 2	Portl I ACI 211.1		P-250		P-350		P-450	
f'c(Kg/cm ²)	Sin aire	Con aire	Rodado	Triturado	Rodado	Triturado	Rodado	Triturado
450	0.38	0.29	0.267	0.389	0.341	0.482	0.396	0.541
400	0.43	0.34	0.296	0.427	0.376	0.526	0.435	0.588
350	0.48	0.40	0.331	0.474	0.418	0.580	0.482	0.645
300	0.55	0.46	0.376	0.532	0.472	0.645	0.541	0.714
250	0.62	0.53	0.435	0.606	0.541	0.727	0.615	0.800
200	0.70	0.61	0.515	0.704	0.633	0.833	0.714	0.909
150	0.80	0.71	0.633	0.840	0.763	0.976	0.851	1.053
Caso	0	1	2	3	4	5	6	7

Elaboramos un gráfico para conocer la tendencia y determinar una expresión

Gráfico A7. Relación agua cemento según clase resistente del cemento



Con funciones de tipo parabólico, logarítmico y exponencial verificamos cuál de estas produce un mejor ajuste con estas fórmulas en la siguiente tabla:

Parabólica

$$A/C = \frac{(b - f'c)^2}{c} + a$$

Logarítmica

$$f'c = a - b \cdot \ln A/C$$

Exponencial

$$f'c = \frac{a}{b^{A/C}} + c$$

f'c Kg/cm²	parabólica			Logarítmica			Expon			Expon			Expon				
	Tabla	Calc	Dif²	Tabla	Calc	Dif²	Tabla	Calc	Dif²	A/C	Tabla	Calc	Dif²	A/C	Tabla	Calc	Dif²
450	0.267	0.270	3.1E-05	432.410	974	448.361	3.273	0.004	0.341	448.2	3.344	0.396	448.4	2.715			
400	0.296	0.290	0.000104	397.320	10.7	401.684	2.834	0.004	0.376	401.2	1.527	0.435	401.2	1.328			
350	0.331	0.325	3.32E-05	358.274	159	352.291	5.248	0.007	0.418	351.9	3.454	0.482	351.7	2.882			
300	0.376	0.377	3.41E-07	314.267	589	300.771	0.594	0.003	0.472	300.6	0.378	0.541	300.5	0.302			
250	0.435	0.443	7.11E-05	263.850	549	248.349	2.726	0.007	0.541	248.6	1.886	0.615	248.8	1.544			
200	0.515	0.525	9.93E-05	204.833	43.9	197.298	7.301	0.014	0.633	197.9	4.488	0.714	198.1	3.532			
150	0.633	0.623	9.5E-05	133.667	815	151.444	2.414	0.010	0.763	151.6	2.624	0.851	151.5	2.270			
Suma cuadrados			0.000434		3142		24.4				17.7			14.57			

Tabla A14. Ajuste de la relación agua cemento para agregados rodados

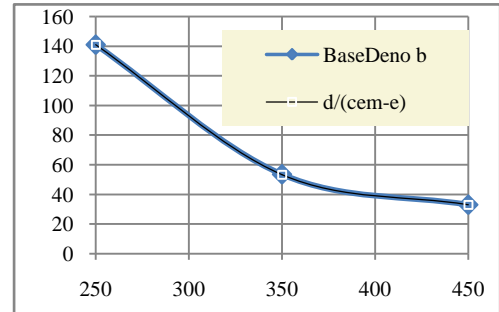
Verificamos que la fórmula logarítmica no produce un ajuste adecuado, la parabólica y exponencial tienen mejor comportamiento, y elegimos la exponencial debido a que

es más similar a la fórmula de Abrams. Disponemos de a, b y c para cada clase resistente y calculamos su tendencia con los 3 valores que tenemos para cada una:

Tabla A15. Cálculo de la fórmula de f'c

Valor de **b**, tendencia lineal inversa $b = d / \sqrt{cem - e}$

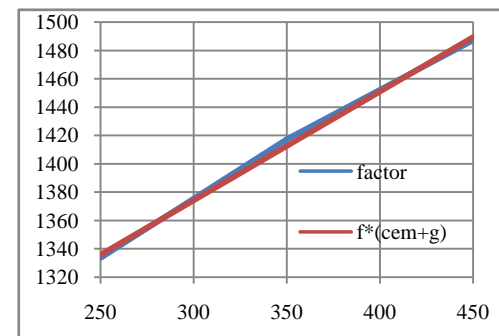
b	base	8591.23	d	e
cemento		189.071		
250	141.001	141.004		1.1E-05
350	53.4332	53.3853		0.0023
450	32.8643	32.9256		0.00376
		Suma cuadrados		0.00607



$$b = \frac{8590}{cem - 189}$$

Valor de **a**, tendencia lineal $a = f \cdot \sqrt{cem} + g$

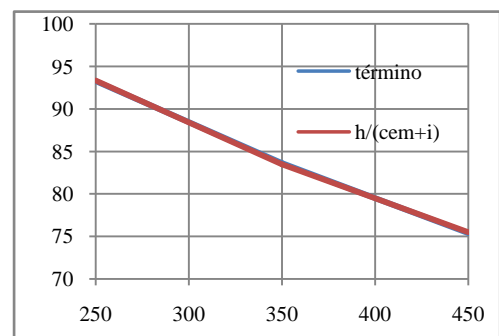
a	factor	0.7682	f	g
cemento		1488.91		
250	1333.52	1335.83		5.3617
350	1417.28	1412.65		21.4469
450	1487.16	1489.47		5.3617
		Suma cuadrados		32.1703



$$a = 0.768 \cdot \sqrt{cem} + 1490$$

Valor de **c**, tendencia lineal inversa $c = h / \sqrt{cem + i}$

c	término	78902.5	h	i
cemento		595.382		
250	93.2694	93.3335		0.00411
350	83.6185	83.4609		0.02482
450	75.3815	75.4772		0.00915
		Suma cuadrados		0.03808



$$c = \frac{78900}{cem + 595.4}$$

Por tanto, al reemplazar en la fórmula $f'c = \frac{a}{b^{A/C}} + c$ resulta:

$$f'c = \frac{0.768 \cdot \sqrt{cem} + 1490}{\left(\frac{8590}{cem - 189}\right)^{A/C}} + \frac{78900}{cem + 595.4}$$

Ecuación A2. f'c teórico según clase resistente

Siendo:

A/C: Relación agua cemento y para agregados rodados, (Kg/cm²)

cem: Clase resistente de morteros normalizados del cemento empleado, (Kg/cm²).

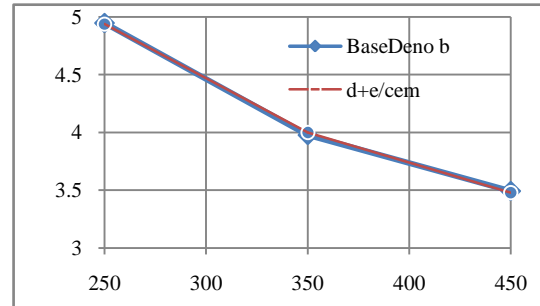
Al despejar la relación agua cemento $A/C = \frac{\ln \left(\frac{f'c - c}{cem} \right)}{\ln(b)}$ y calculando $\ln(a)$ y $\ln(b)$ en la siguiente tabla tendremos:

Tabla A16. Cálculo de la fórmula de A/C

Valor de $\ln(b)$,
tendencia lineal inversa $\ln \left(\frac{d + e}{cem} \right)$

b cemento	base ln(b)	1.64979 822.769	d e
250	4.94877	4.94086	6.2E-05
350	3.97843	4.00056	0.00049
450	3.49239	3.47816	0.0002
			0.00075

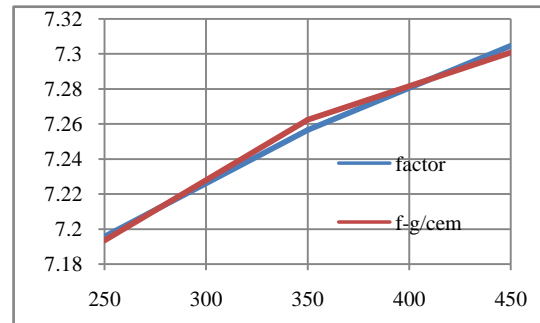
$$\ln \left(\frac{d + e}{cem} \right) = 1.65 + \frac{822.8}{cem}$$



Valor de $\ln(a)$,
tendencia lineal inversa $\ln \left(\frac{f - g}{cem} \right)$

a cemento	factor ln(a)	7.43494 60.3693	f g
250	7.19558	7.19347	4.5E-06
350	7.2565	7.26246	3.6E-05
450	7.30462	7.30079	1.5E-05
			5.5E-05

$$\ln \left(\frac{f - g}{cem} \right) = 7.435 - \frac{60.37}{cem}$$



Reemplazando $\ln(a)$ y $\ln(b)$:

$$A/C = \frac{7.435 - \frac{60.37}{cem} - \ln \left(\frac{f'c - \frac{78900}{cem + 595.4}}{cem} \right)}{1.65 + \frac{822.8}{cem}}$$

Ecuación A3. $f'c$ teórico según clase resistente

Siendo:

A/C: Relación agua cemento y

$f'c$: Resistencia característica esperada para agregados rodados, (Kg/cm²)

cem: Clase resistente de morteros normalizados del cemento empleado, (Kg/cm²).

Para el caso de agregados triturados, planteamos una función, nuevamente exponencial, para comparar la relación agua cemento con respecto a los agregados

rodados: $ACr = ACt \frac{a}{b}$ bien: $ACt = b^{1/a} \cdot ACr^{1/a}$ Siendo:

ACr: Relación agua cemento usando agregados rodados (A/C en eqs. A2 y A3)

ACt: Relación agua cemento usando agregados triturados y

a y b: Coeficientes de mejor ajuste.

Con la fórmula de ACr elaboramos la siguiente tabla:

Tabla A17. Relación agua cemento agregados triturados

P-250					P-350					P-450					
Tabla	a=	1.142			Tabla	a=	1.142			Tabla	a=	1.142			
	b=	1.294				b=	1.280				b=	1.254			
Rodado	Triturado	T/R	Calc	Dif ²	Rodado	Triturado	T/R	Calc	Dif ²	Rodado	Triturado	T/R	Calc	Dif ²	
0.267	0.389	1.455	0.263	2E-05	0.341	0.482	1.412	0.339	3E-06	0.39604	0.541	1.365	0.395	9E-07	
0.296	0.427	1.444	0.293	9E-06	0.376	0.526	1.4	0.375	3E-07	0.43478	0.588	1.353	0.435	1E-07	
0.331	0.474	1.431	0.33	3E-06	0.418	0.58	1.386	0.419	6E-07	0.48193	0.645	1.339	0.484	3E-06	
0.376	0.532	1.415	0.376	1E-10	0.472	0.645	1.368	0.474	4E-06	0.54054	0.714	1.321	0.543	7E-06	
0.435	0.606	1.394	0.436	3E-06	0.541	0.727	1.345	0.543	7E-06	0.61538	0.8	1.3	0.618	8E-06	
0.515	0.704	1.366	0.518	6E-06	0.633	0.833	1.317	0.634	2E-06	0.71429	0.909	1.273	0.715	1E-06	
0.633	0.840	1.328	0.634	8E-07	0.763	0.976	1.278	0.76	1E-05	0.85106	1.053	1.237	0.846	3E-05	
Suma cuadrados				4E-05					3E-05						5E-05

El valor de a es constante y b varía en $\pm 1\%$, tomando su promedio en 1.276 por lo tanto a y b son aplicables a todas las clases resistentes quedando:

$$ACr = ACt^{1.142} / 1.276 \quad \text{Ecuación A4. Agua cemento para agregados rodados vs. triturados}$$

$$ACt = 1.238 \cdot ACr^{0.876} \quad \text{Ecuación A5. Agua cemento para agregados triturados vs. rodados}$$

Estas expresiones aunque aproximadas nos dan una idea de la relación agua cemento a utilizar.

9.8. ANEXO 8. Volumen de ripio según ACI

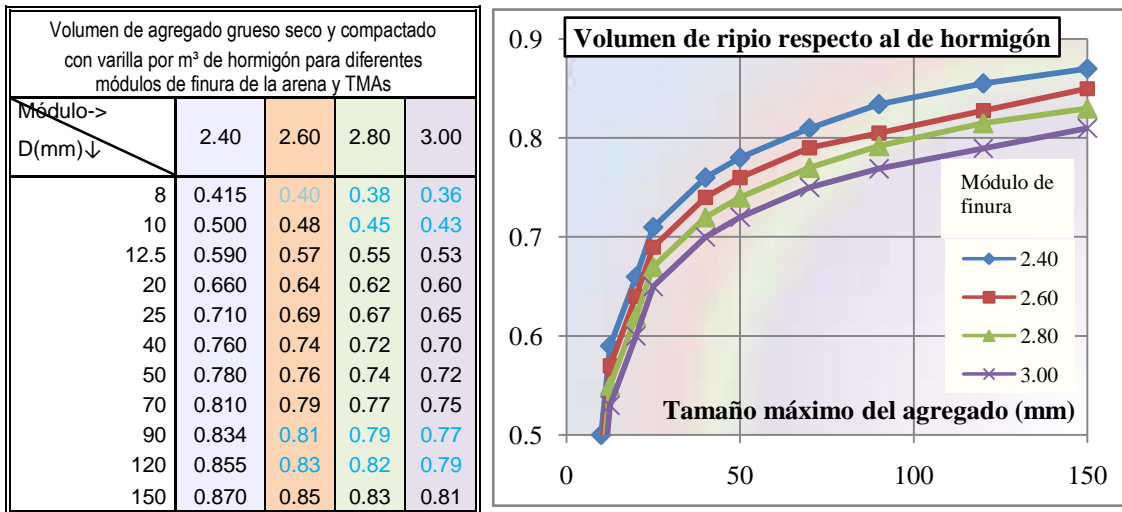
El volumen a granel compactado de ripio que será adecuado para elaborar 1m^3 de hormigón depende directamente del tamaño máximo del agregado e inversamente del módulo de finura de la arena.

Si a una mezcla de agregados le aumentamos material de mayor tamaño que el tamaño máximo de estos agregados, en una proporción adecuada, la compactación resultante no disminuirá, inclusive hasta puede mejorarse y la cantidad necesaria de materiales finos (arena, materiales cementicios, agua, aditivos y aire) tampoco aumentará en tal proporción como el incremento de volumen del producto final. Es por esa razón que se puede tener un mayor volumen relativo de agregado grueso si es mayor el tamaño máximo del agregado.

De la tabla 4.7 buscamos una expresión de acuerdo a varios modelos.

Tabla 4.7 Volumen de agregado grueso vs. Tamaño máximo del agregado y módulo de finura
 Tomado de la tabla A1.5.3.6 (American Concrete Institute, 1995)

Gráfico 4.1 Volumen de agregado grueso



Planteamos que la tendencia pueda ser de tipo arcotangente, logarítmica, exponencial o una combinación de arcotangente con logarítmica:

$$C_{RIPIO} = 0.175 + .47 * \tan^{-1}\left(\frac{D}{11.5}\right) \quad \text{Fórmula arcotangente}$$

$$C_{RIPIO} = 0.427 + 0.0936 \cdot \ln |D - 7.31| \quad \text{Fórmula logarítmica}$$

$$C_{RIPIO} = -5.44 + |D - 7.251|^{0.016} / 0.171 \quad \text{Fórmula exponencial}$$

$$C_{RIPIO} = 0.148 + 0.55 \cdot \tan^{-1} |0.212 \cdot D| \quad \text{Fórmula combinación arcotangentelogarítmica}$$

Tabla A18. Expresión aproximada para volumen de ripio

Forma de la ecuación	=a+b*atan((D+e)/n)	=a+n*ln(D-b)	=e+(a+D)^n/b	=a+n*atan(ln(b*D))								
Tipo de ecuación	arcoTangente	Logarítmica	Exponencial	ArcTang+Log								
Valores de los coeficientes	a	a	a	a								
	-5.092	0.427	-7.251	0.148								
	n	n	n	n								
	1.023	0.094	0.016	0.551								
Módulo finura	b	b	b	b								
	3.796	7.310	0.171	0.212								
D(mm)	2.4	2.6	2.8	3.0								
	0.372	e	-5.440	e								
8	0.415	0.409	.00025	0.392	.00161	0.387	.00079	0.415	0.00010			
10	0.501	0.486	0.461	0.439	0.498	.00001	0.520	.00577	0.510	.00088	0.502	0.00001
12.5	0.591	0.572	0.551	0.531	0.570	.00447	0.581	.00009	0.572	.00036	0.573	0.01817
19.05	0.660	0.638	0.620	0.599	0.671	.00075	0.658	.00001	0.651	.00009	0.670	0.00064
25	0.710	0.689	0.669	0.649	0.718	.00007	0.696	.00377	0.691	.00118	0.715	0.00003
38.1	0.752	0.732	0.711	0.691	0.770	.00243	0.748	.00002	0.745	.00004	0.767	0.00342
50	0.780	0.760	0.741	0.720	0.794	.00102	0.778	.00000	0.778	.00001	0.792	0.00053
75	0.820	0.800	0.779	0.760	0.819	.00000	0.822	.00000	0.824	.00001	0.822	0.00000
150	0.87	0.85	0.83	0.81	0.845	.00395	0.891	.00311	0.899	.00085	0.858	0.00015
Suma de diferencias de pesos en potencias						.01295		.01438		.00421		0.02305

Escogemos esta última porque nos permite tener valores consistentes en los extremos de tamaño máximo del agregado. Observamos que, como por cada décima de unidad

Es decir que para obtener el valor `dblint`, asociado a `Xdat` y `Ydat`, se interpolará dentro de los valores `tl`, `tr`, `bl` y `br` (TopLeft, TopRight, BottomLeft y BottomRight respectivamente) correspondientes a los datos de encabezado superior e izquierdo `SD`, `RD`, `UD` y `LD`. Estos 10 datos deben ser escritos como argumentos de la función, directamente o como referencias o fórmulas. El código es el siguiente:

```
'doble interpolación
Funcion dblint(Xdat, Ydat, SD, RD, UD, LD, tl, tr, bl, br)
L = inter(Ydat, UD, LD, tl, bl)
R = inter(Ydat, UD, LD, tr, br)
dblint = inter(Xdat, SD, RD, L, R)
End Function
```

- **Interpolación desde tablas**

En la función anterior de interpolación doble, se deben ingresar todos los valores contiguos al valor buscado (4 datos) además de los datos de encabezados (4 datos) y por supuesto, los valores de búsqueda. En la rutina de interpolación de tablas, en cambio, los datos de encabezado y los mismos valores contiguos al valor buscado, son encontrados dentro de una matriz o rango llamada `rang` que contiene la tabla misma. Los primeros datos de encabezado, leídos de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo, que cumplan el criterio de abarcar a los valores buscados, serán usados para las interpolaciones requeridas. Su uso lo ilustramos en el siguiente ejemplo:

Tabla A20. Ejemplo de interpolación bidireccional desde tablas

	D	E	F	G	H	I	J
7	Ejemplo de interpolación en una tabla						
8	Cantidad de aditivo (gr/saco)						
9	FMA	0	15	30	50	80	120
10	(mm)	Porcentaje de aire incluido					
11	9.5	3.0	5.0	7.0	7.5	8.0	8.5
12	12.7	2.5	4.0	5.7	6.5	6.9	7.3
13	19.1	2.0	3.6	5.0	5.4	5.7	6.0
14	25.4	1.5	3.1	4.6	5.0	5.2	5.5
15	38.1	1.0	2.2	3.5	4.3	4.7	5.0
16	50.8	0.5	1.6	3.0	3.6	4.2	4.7
17	76.2	0.3	1.3	2.6	3.3	3.9	4.5
18	101.6	0.3	1.1	2.0	2.9	3.5	4.2
19	152.4	0.2	1.0	1.7	2.6	3.4	4.0

La función de interpolación `TabInt` tendrá los siguientes 3 argumentos:

TabInt (CeldaInicialTabla:CeldaFinalTabla,ValorBuscadoDirecciónX,ValorBuscadoDirecciónY)

El rango desde celda inicial a final podrá ser escrito al momento de invocar la función, o bien ser seleccionado con el puntero. Los valores de búsqueda en dirección horizontal y vertical deberán ser la primera fila o columna del rango respectivamente. Las filas o columnas siguientes a estas dentro del rango podrán contener valores que no sean numéricos, los mismos que serán ignorados hasta llegar a valores numéricos en los cuales se interpolará (en el ejemplo la fila 10 que contiene el texto “Porcentaje de aire incluido” se omitirá hasta llegar a la fila 11).

El código de la función es:

```
'interpolación de tablas
Function TabInt(Rang, Xd, Yd)
For i = 2 To Rang.Columns.Count - 1
  If IsNumeric(Rang(1, i)) Then
    If Xd >= Rang(1, i) And Xd <= Rang(1, i + 1) Then
      xL = i: Exit For
    End If
    If Xd <= Rang(1, i) And Xd >= Rang(1, i + 1) Then
      xL = i: Exit For
    End If
  End If
Next i
For i = 2 To Rang.Rows.Count - 1
  If IsNumeric(Rang(i, 1)) Then
    If Yd >= Rang(i, 1) And Yd <= Rang(i + 1, 1) Then
      yUp = i: Exit For
    End If
    If Yd <= Rang(i, 1) And Yd >= Rang(i + 1, 1) Then
      yUp = i: Exit For
    End If
  End If
Next i
L = inter(Yd, Rang(yUp, 1), Rang(yUp + 1, 1), Rang(yUp, xL), Rang(yUp + 1, xL))
R = inter(Yd, Rang(yUp, 1), Rang(yUp + 1, 1), Rang(yUp, xL + 1), Rang(yUp + 1, xL + 1))
TabInt = inter(Xd, Rang(1, xL), Rang(1, xL + 1), L, R)
End Function
```

• ANEXO 10. Tabla 6.3.3 y A1.5.3.3 ACI 211.1

Aunque ya hemos deducido expresiones aproximadas en anexos 3 y 4, conviene tener los valores de la tabla para determinar con mayor exactitud en el programa de dosificaciones, los valores de agua neta y aire atrapado. Se puede emplear también interpolación desde tablas, pero preferimos funciones específicas para esa tabla, ya

que presenta 2 cuerpos, uno para hormigón sin aire incluido y otro con aire incluido.

Para el agua neta usamos la función ANetaACI, que consta de los siguientes argumentos:

```
ANetaACI(AireIncluido?, TamañoMaximoAgregado, Asentamiento, CeldaInicialTabla)
```

Siendo:

AnetaACI:	Cantidad de agua neta (litros/m ³)
AireIncluido:	Es hormigón con aire incluido? (0=falso, 1=verdadero)
TamañoMaximoAgregado:	Valor del tamaño máximo del agregado (mm)
Asentamiento:	Asentamiento esperado (cm) y
CeldaInicialTabla:	La posición de la celda superior izquierda de la tabla (string)

El listado del código es el siguiente:

```
Function ANetaACI(air, TM, dta, cSI)
`determinar región del cuadro si aire incluido
FilaTMA = Right(cSI, Len(cSI) - 1) + 1: SLIdx = FilaTMA + 2: If air > 0 Then
SLIdx = SLIdx + 5
`hallar fila superior para interpolación de asentamiento
If dta > Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx + 1, 3) Then SLIdx = SLIdx + 1
`hallar columna derecha de interpolación de TMA
ColDta = Asc(Ucase(Left(cSI, 1))) - 62: TmIdx = ColDta + 2
Do While TM > Worksheets("Aneta").Cells(FilaTMA, TmIdx)
TmIdx = TmIdx + 1
If Worksheets("Aneta").Cells(FilaTMA, TmIdx) = 0 Then
    TmIdx = TmIdx - 1
    Exit Do
End If
Loop
`Valores para interpolación
SD = Worksheets("Aneta").Cells(FilaTMA, TmIdx - 1)
RD = Worksheets("Aneta").Cells(FilaTMA, TmIdx)
tl = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx, TmIdx - 1)
tr = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx, TmIdx)
bl = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx + 1, TmIdx - 1)
br = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx + 1, TmIdx)
UD = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx, ColDta)
LD = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx + 1, ColDta)
`interpolaciones en dirección vertical
L = inter(dta, UD, LD, tl, bl): `L = tl + (dta - UD) * (bl - tl) / (LD - UD)
R = inter(dta, UD, LD, tr, br): `R = tr + (dta - UD) * (br - tr) / (LD - UD)
`interpolación en dirección horizontal
ANetaACI = inter(TM, SD, RD, L, R)
End Function
```

Con la única salvedad de que la tabla deberá encontrarse dentro de la hoja "Aneta", en cualquier posición, la que será invocada por el argumento CeldaInicialTabla.

Para el aire atrapado o incluido usamos la función aire, cuya sintaxis es la siguiente:

```
aire(CondiciónDeAireIncluido, TamañoMaximoAgregado, CeldaInicialTabla)
```

Siendo:

Aire: Porcentaje o fracción de aire atrapado, mismas unidades que en la tabla

CondiciónDeAireIncluido: **0**=Hormigón sin aire incluido, **1**=Con aire incluido, sometido a exposición baja según acápite 6.3.3 de ACI 211.1, **2**=Con aire incluido y exposición moderada, **3**=Idem para exposición severa

El resto de argumentos son iguales que para la anterior función.

El listado de esta función es:

```
'porcentaje de aire incluido
Function aire(air, TM, cSI)
'determinar región del cuadro si aire incluido
FilaTMA = Right(cSI, Len(cSI) - 1) + 1
SLIdx = FilaTMA + 5: If air > 0 Then SLIdx = 13 + air
'hallar columna derecha de interpolación de TMA
ColDta = Asc(UCase(Left(cSI, 1))) - 62: TmIdx = ColDta + 2
Do While TM > Worksheets("Aneta").Cells(4, TmIdx)
TmIdx = TmIdx + 1
If Worksheets("Aneta").Cells(4, TmIdx) = 0 Then
    TmIdx = TmIdx - 1
Exit Do
End If
Loop
SD = Worksheets("Aneta").Cells(FilaTMA, TmIdx - 1)
RD = Worksheets("Aneta").Cells(FilaTMA, TmIdx)
tl = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx, TmIdx - 1)
tr = Worksheets("Aneta").Cells(SLIdx, TmIdx)
aire = inter(TM, SD, RD, tl, tr)
'aire = tl
End Function
```

Asimismo, la tabla deberá encontrarse dentro de la hoja denominada “Aneta”.

9.10.ANEXO 11. Conversión serie de Tyler a métrico

Los tamices de la serie americana están denominados por su abertura en pulgadas, generalmente para agregados gruesos, y por una numeración, para agregados finos, la función `metri` determina cual es el caso y lo transforma a milímetros, observando también las discontinuidades en el caso de numeración. Su sintaxis es:

`Metri (AberturaONumeración)` Siendo:

`Metri`: Valor de abertura o tamaño del material (mm)

`AberturaONumeración`: La abertura en pulgadas, que puede ingresarse con formato de fracción (`#/## \`) o la numeración que será ingresada como texto, del cual

se interpretarán los últimos caracteres desde la derecha como el número de tamiz (por ejemplo N60, N°60, #60, etc se refieren al tamiz número 60).

El código de la función es:

```
'Conversión de aberturas de tamices
Function Metri(aP As Variant)
If Val(aP) <> 0 Then
    Metri = aP * 25.4: tyler = 0
Else
If Val(Left(aP, 1))= 0 And Left(aP, 1)<> "0" And Left(aP, 1) <> "." Then
For i = 2 To Len(aP)
    If Val(Mid(aP, i, 1)) <> 0 Then Exit For
Next
If i <> Len(aP) + 1 Then tyler = Val(Right(aP, Len(aP) - i + 1))
    Select Case tyler
        Case 2 To 16: Metri = 19.05 / tyler
        Case 16 To 30: Metri = -0.0425 * tyler + 1.87
        Case 30 To 50: Metri = -0.0149 * tyler + 1.042
        Case Is > 50: Metri = 14.85 / tyler
    End Select
End If
End If
If aP = "Bandeja" Or aP = "Fondo" Then Metri = 0.0065
End Function
```

9.11. Anexo 12 Programa de dosificación

Hemos realizado un programa dentro de la hoja electrónica Excel, para calcular los parámetros y materiales para dosificar hormigón de acuerdo a los métodos del ACI, Fuller, Bolomey y Faury. Las fórmulas desarrolladas en anexos 1 al 8, los grupos de celdas de cálculo, las macros antes indicadas en anexos 9 al 11, así como los módulos expuestos a continuación constituyen los elementos de automatización para el programa cuyo código es el siguiente:

```
Public oi As Integer, Mez As Object
Public Col As Object, Gran(40, 4) As Variant, Resum(40, 2) As Variant
Sub ActGraf1()
    FO = 6: grafi = "Graf1": Call ActGraf(FO, grafi)
End Sub
Sub ActGraf2()
    FO = 24: grafi = "Graf2": Call ActGraf(FO, grafi)
End Sub
Sub ActGraf3()
    FO = 42: grafi = "Graf3": Call ActGraf(FO, grafi)
End Sub
Sub ActGraf4()
    FO = 60: grafi = "Graf4": Call ActGraf(FO, grafi)
End Sub
Sub ActGraf(FO, grafi)
Select Case FO
    Case 6: Col0 = 52: Col1 = "AZ": Col2 = "BA": Col3 = "BB"
    Case 24: Col0 = 55: Col1 = "BC": Col2 = "BD": Col3 = "BE"
    Case 42: Col0 = 58: Col1 = "BF": Col2 = "BG": Col3 = "BH"
```

```

    Case 60: Col0 = 61: Col1 = "BI": Col2 = "BJ": Col3 = "BK"
End Select
GrafUp = Worksheets("Normas").Cells(64, Col0 + 1)
GrafLow = Worksheets("Normas").Cells(64, Col0 + 2)
TaMin = "Normas!" & Col1 & Worksheets("Normas").Cells(59, Col0 + 1) & ":" &
Col1
& Worksheets("Normas").Cells(60, Col0 + 1)
TaMAX = "Normas!" & Col1 & Worksheets("Normas").Cells(59, Col0 + 2) & ":" &
Col1
& Worksheets("Normas").Cells(60, Col0 + 2)
MinVals = "Normas!" & Col2 & Worksheets("Normas").Cells(59, Col0 + 1) & ":"
& Col2
& Worksheets("Normas").Cells(60, Col0 + 1)
MAXVals = "Normas!" & Col3 & Worksheets("Normas").Cells(59, Col0 + 2) & ":"
& Col3
& Worksheets("Normas").Cells(60, Col0 + 2)
TaMat = "Agre!B" & Worksheets("Normas").Cells(62, Col0 + 1) & ":B"
& Worksheets("Normas").Cells(62, Col0 + 2)
MatVals = "Agre!E" & Worksheets("Normas").Cells(62, Col0 + 1) & ":E"
& Worksheets("Normas").Cells(62, Col0 + 2)
    Col.ChartObjects(grafi).Activate: With ActiveChart
        .Axes(xlCategory).MaximumScale = GrafUp
        .Axes(xlCategory).MinimumScale = GrafLow
        .SeriesCollection(3).XValues = Range(TaMin)
        .SeriesCollection(4).XValues = Range(TaMAX)
        .SeriesCollection(3).Values = Range(MinVals)
        .SeriesCollection(4).Values = Range(MAXVals)
        .SeriesCollection(1).XValues = Range(TaMat)
        .SeriesCollection(1).Values = Range(MatVals)

    End With
'End If
End Sub
Sub Subelx(): factr = 1: Call SubeBaja(factr): End Sub
Sub Subel0x(): factr = 10: Call SubeBaja(factr): End Sub
Sub Subel100x(): factr = 100: Call SubeBaja(factr): End Sub
Sub bajalx(): factr = -1: Call SubeBaja(factr): End Sub
Sub bajal0x(): factr = -10: Call SubeBaja(factr): End Sub
Sub bajal100x(): factr = -100: Call SubeBaja(factr): End Sub
Sub SubeBaja(factr)
    rou = ActiveCell.Row
    Select Case rou
        Case 4 To 16: FO = 6
        Case 22 To 34: FO = 24
        Case 40 To 52: FO = 42
        Case 58 To 70: FO = 60
        Case Else: Exit Sub
    End Select
    If ActiveCell.Column <> 3 Then Exit Sub
    If rou = FO - 2 Then
        Select Case ActiveCell
            Case 1: incr = 2.5 - 1.5 * factr / Abs(factr)
            Case 2: incr = 1 + 2 * factr / Abs(factr)
            Case 5: incr = -3.5 - 0.5 * factr / Abs(factr)
        End Select
        ActiveCell = ActiveCell + incr
    Exit Sub
    End If
    If rou >= FO And rou <= FO + 9 Then
        If ActiveCell + factr * Cells(FO - 2, 3) >= 0 Then
            ActiveCell = ActiveCell + factr * Cells(FO - 2, 3): End If: End If
    If rou = 16 Or rou = 34 Or rou = 52 Or rou = 70 Then
        If Left(ActiveCell.FormulaR1C1, 4) = "=SUM" Then
            MasTot = ActiveCell.Value + factr * Cells(FO - 2, 3)
            FacTot = MasTot / ActiveCell
            For i = FO To FO + 9
                If Cells(i, 3) <> "" Then Cells(i, 3) = Cells(i, 3) * FacTot
            End For
        End If
    End If
End Sub

```

```

Next i
Else
SumAnt = 0: For i = FO To FO + 9
If Cells(i, 3) <> "" Then SumAnt = SumAnt + Cells(i, 3)
Next i
FacTot = ActiveCell.Value / SumAnt
For i = FO To FO + 9
If Cells(i, 3) <> "" Then Cells(i, 3) = Cells(i, 3) * FacTot
Next i
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUM(R[-10]C[0]:R[-1]C[0])"
End If
End If
End Sub
Sub Sube01(): tern = 0.001: Call BajaSube(tern): End Sub
Sub Sube1(): tern = 0.01: Call BajaSube(tern): End Sub
Sub Sube10(): tern = 0.1: Call BajaSube(tern): End Sub
Sub baja01(): tern = -0.001: Call BajaSube(tern): End Sub
Sub baja1(): tern = -0.01: Call BajaSube(tern): End Sub
Sub baja10(): tern = -0.1: Call BajaSube(tern): End Sub
Sub BajaSube(tern)
rou = ActiveCell.Row
rdb = 43: cdb = 3
If rou >= rdb And rou <= rdb + 3 And ActiveCell.Column = cdb Then
If ActiveCell + tern > 1 Then ActiveCell = 1
If ActiveCell + tern < 0 Then ActiveCell = 0
sump = 0
For i = 0 To 3: sump = sump + Cells(rdb + i, cdb): Next i
If sump + ActiveCell <> 1 Then
For i = 0 To 3: Cells(rdb + i, cdb) = Cells(rdb + i, cdb) / sump:
Next i
End If
sump = sump - ActiveCell
ActiveCell = ActiveCell + tern
For i = 0 To 3
If rdb + i <> rou Then Cells(rdb + i, cdb) = Cells(rdb + i, cdb) *
(sump - tern) / sump
Next i
End If
End Sub
Sub CopiaOrdena() 'Inicia copia peso parcial y divide para peso total
Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set Agr = Worksheets("Agre"): Set res =
Worksheets("Resumen")
FO = 6#: j = 0
Mez.Range("a11:g50").ClearContents
For i = FO To FO + 63
If i = 16 Or i = 34 Or i = 52 Then
i = i + 8: FO = FO + 18
End If
If j > 40 Then Exit For
If Agr.Cells(i, 2) <> 0 And Agr.Cells(i, 3) <> 0 Then
j = j + 1
Gran(j, 3) = Agr.Cells(FO - 4, 1) 'Tipo de material
Gran(j, 2) = i 'fila en la que se encuentra
Gran(j, 1) = Agr.Cells(i, 2) 'Tamaño mm
Gran(j, 4) = Agr.Cells(i, 3) 'Masa retenida parcial
Mez.Cells(j + 10, 1).Formula = "=Agre!b" & i 'Referencia al tamaño
For k = 2 To 3
Mez.Cells(j + 10, k) = Gran(j, k) 'Mezcla B y C, fila y tipo material
Next k
Mez.Cells(j + 10, 4).Formula = "=Agre!c" & i & "/Agre!c" & FO + 10 &
"*Resumen!C" & 43 + (FO - 6) / 18
End If
Next i
'Mezcla D es masa retenida dividida para densidad
'H(FO-4) es gravedad específica, G(FO-2) es humedad natural
'Finaliza copia inicia ordena
ActiveWorkbook.Worksheets("Mezcla").Sort.SortFields.Clear

```

```

ActiveWorkbook.Worksheets("Mezcla").Sort.SortFields.Add
Key:=Range("A11"), _
SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Mezcla").Sort
.SetRange Range("A11:D" & j + 10): .Header = xlNo: .MatchCase =
False
.Orientation = xlTopToBottom: .SortMethod = xlPinYin: .Apply
End With
Mez.Range("d11:e" & j + 10).Calculate: Mez.Cells(9, 8) = Mez.Cells(13, 5)
'Finaliza ordena inicia suma
k = 11: jj = 0 'K es Fila donde inicia el resumen
For i = 11 To j + 10
Tota = ""
If Mez.Cells(i, 1) * 1.03 < Mez.Cells(i - 1, 1) Then
Tota = Mez.Cells(i, 4).Formula
For jj = 1 To 8
If jj + i > 50 Then Exit For
If Int(100 * Mez.Cells(i + jj, 1)) = Int(100 * Mez.Cells(i, 1)) Then
Tota = Tota & "+" & Right(Mez.Cells(i + jj, 4).Formula,
Len(Mez.Cells(i + jj, 4).Formula) - 1)
End If
Next jj
k = k + 1
If Tota <> "" Then Mez.Cells(i, 5).Formula = Tota
End If
Next i
qq = j
'Finaliza suma inicia resumen
j = 1
Mez.Range("d11:e" & qq + 10).Calculate
For i = 1 To qq
If Mez.Cells(i + 10, 5).Text <> "" Then
Resum(j, 1) = Mez.Cells(i + 10, 1).Formula: Resum(j, 2) = Mez.Cells(i
+ 10, 5).Formula
Mez.Cells(j + 10, 6).Formula = Resum(j, 1): Mez.Cells(j + 10,
7).Formula = Resum(j, 2)
If j > 1 Then If Mez.Cells(j + 10, 7) = 0 And Mez.Cells(j + 9, 7) = 0
Then Exit For
j = j + 1
End If
Next
'Finaliza resumen inicia tamaños
Mez.Range("j11:k50").ClearContents
'Mez.Range("j11:k50").Font.Name = "Calibri":Mez.Range("j11:k50").Font.Size =
8
yTam = 0: j = 11
For i = 11 To k - 1
If Mez.Cells(i, 6) <> "" Then
Mez.Cells(j, 10) = Mez.Cells(i, 6): Mez.Cells(j + 1, 10) = Mez.Cells(i,
6)
Mez.Cells(j, 11) = yTam: yTam = Abs(1 - yTam): Mez.Cells(j + 1, 11) =
yTam
j = j + 2
End If
Next i
'Finaliza tamaños inicia Actualizar mezcla
Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set res = Worksheets("Resumen")
For i = 11 To 27: If Mez.Cells(i, 13) > 0.1 Then Exit For
Next: Upmin = i: If Upmin < 11 Then Upmin = 11
For i = 11 To 27: If Mez.Cells(i, 14) <> "" And Mez.Cells(i, 14) > 0 Then
Exit For
Next: UpMax = i: If UpMax < 11 Then UpMax = 11
For i = 11 To 58: If Mez.Cells(i, 9) <> "" And Mez.Cells(i, 9) > 0 Then
Exit For
Next: UPMAT = i - 2: If UPMAT < 10 Then UPMAT = 10
For i = 27 To 11 Step -1: If Mez.Cells(i, 13).Value > 0 Then Exit For
Next: Lowmin = i + 1

```

```

For i = 27 To 11 Step -1: If Mez.Cells(i, 14).Value > 0 Then Exit For
Next: LowMax = i + 1
For i = 38 To 11 Step -1: If Mez.Cells(i, 9) <> "" Then Exit For
Next: LowMat = i: If LowMat > 38 Then LowMat = 38
k = i 'CONTROLAR AQUI
If Lowmin > 27 Then Lowmin = 27
If LowMax > 27 Then LowMax = 27
If Upmin >= UpMax Then NorUpId = UpMax Else NorUpId = Upmin
If Lowmin >= LowMax Then NorLowId = Lowmin Else NorLowId = LowMax
If LowMat > k - 1 Then LowMat = k - 1
If NorLowId > k Then NorLowId = k + 4: If NorUpId < 11 Then NorUpId = 11
NorUpTam = Mez.Cells(NorUpId, 12): NorLowTam = Mez.Cells(NorLowId, 12)
MatUpTam = Mez.Cells(UPMAT, 6): MatLowTam = Mez.Cells(LowMat, 6)
If NorUpTam >= MatUpTam Then GrafUp = NorUpTam Else GrafUp = MatUpTam
If NorLowTam <= MatLowTam Then GrafLow = NorLowTam Else GrafLow = MatLowTam
TaMin = "L" & Upmin & ":L" & Lowmin: TaMAX = "L" & UpMax & ":L" & LowMax
MinVals = "M" & Upmin & ":M" & Lowmin: MAXVals = "N" & UpMax & ":N" & LowMax
res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
.Axes(xlCategory).MaximumScale = GrafUp
.Axes(xlCategory).MinimumScale = GrafLow
.SeriesCollection(3).XValues = Range(TaMin)
.SeriesCollection(4).XValues = Range(TaMAX)
.SeriesCollection(3).Values = Range(MinVals)
.SeriesCollection(4).Values = Range(MAXVals)
.SeriesCollection(10).XValues = 5
.SeriesCollection(10).Values = 0
.SeriesCollection(1).XValues = Mez.Range("f10", "f" & Mez.Cells(39, 9))
.SeriesCollection(1).Values = Mez.Range("i10", "i" & Mez.Cells(39, 9))
End With
End Sub
Sub DibujaFuller()
Set ActDes = Worksheets("Resumen").Cells(30, 8)
Select Case Left(ActDes, 1)
Case 0: Cells(30, 8) = 1: ActFuller
Case 1: Cells(30, 8) = 0: DesacFuller
End Select
End Sub
Sub ActFuller()
Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set res = Worksheets("Resumen")
res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
.SeriesCollection(5).XValues = Mez.Range("V" & Mez.Cells(39, 22), "V" &
Mez.Cells(39, 23))
.SeriesCollection(5).Values = Mez.Range("W" & Mez.Cells(39, 22), "W" &
Mez.Cells(39, 23))
End With
End Sub
Sub DesacFuller()
Set res = Worksheets("Resumen")
res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
.SeriesCollection(5).XValues = 5
.SeriesCollection(5).Values = 0
End With
End Sub
Sub DibujaBolomey()
Set ActDes = Worksheets("Resumen").Cells(31, 8)
Select Case Left(ActDes, 1)
Case 0: Cells(31, 8) = 1: ActBolomey
Case 1: Cells(31, 8) = 0: DesacBolomey
End Select
End Sub
Sub ActBolomey()
Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set res = Worksheets("Resumen")
res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
.SeriesCollection(6).XValues = Mez.Range("V" & Mez.Cells(39, 22), "V" &
Mez.Cells(39, 23))
.SeriesCollection(6).Values = Mez.Range("X" & Mez.Cells(39, 22), "X" &
Mez.Cells(39, 23))

```

```

    End With
End Sub
Sub DesacBolomey()
    Set res = Worksheets("Resumen")
    res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
    .SeriesCollection(6).XValues = 5
    .SeriesCollection(6).Values = 0
    End With
End Sub
Sub DibujaFaury()
    Set ActDes = Worksheets("Resumen").Cells(32, 8)
    Select Case Left(ActDes, 1)
        Case 0: Cells(32, 8) = 1: ActFaury
        Case 1: Cells(32, 8) = 0: DesacFaury
    End Select
End Sub
Sub ActFaury()
    Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set res = Worksheets("Resumen")
    res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
    .SeriesCollection(7).XValues = Mez.Range("Y" & Mez.Cells(39, 25), "Y" &
Mez.Cells(39, 26))
    .SeriesCollection(7).Values = Mez.Range("Z" & Mez.Cells(39, 25), "Z" &
Mez.Cells(39, 26))
    End With
End Sub
Sub DesacFaury()
    Set res = Worksheets("Resumen")
    res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
    .SeriesCollection(7).XValues = 5
    .SeriesCollection(7).Values = 0
    End With
End Sub
Sub DibujaACI()
    Set ActDes = Worksheets("Resumen").Cells(33, 8)
    Select Case Left(ActDes, 1)
        Case 0: Cells(33, 8) = 1: ActACI
        Case 1: Cells(33, 8) = 0: DesacACI
    End Select
End Sub
Sub ActACI()
    Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set res = Worksheets("Resumen")
    res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
    .SeriesCollection(8).XValues = Mez.Range("L" & Mez.Cells(29, 19), "L" &
Mez.Cells(29, 20))
    .SeriesCollection(8).Values = Mez.Range("S" & Mez.Cells(29, 19), "S" &
Mez.Cells(29, 20))
    .SeriesCollection(9).XValues = Mez.Range("L" & Mez.Cells(29, 19), "L" &
Mez.Cells(29, 20))
    .SeriesCollection(9).Values = Mez.Range("T" & Mez.Cells(29, 19), "T" &
Mez.Cells(29, 20))
    End With
End Sub
Sub DesacACI()
    Set res = Worksheets("Resumen")
    res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
    .SeriesCollection(8).XValues = 5
    .SeriesCollection(8).Values = 0
    .SeriesCollection(9).XValues = 5
    .SeriesCollection(9).Values = 0
    End With
End Sub
Sub ActContinuo()
    Set res = Worksheets("Resumen"): Set Mez = Worksheets("Mezcla")
    res.ChartObjects("Mezcla").Activate: With ActiveChart
    .SeriesCollection(10).XValues = Mez.Range("ag10", "ag" & Mez.Cells(51,
36))
    .SeriesCollection(10).Values = Mez.Range("aj10", "aj" & Mez.Cells(51, 36))

```

```

        .SeriesCollection(1).XValues = 5
        .SeriesCollection(1).Values = 0
    End With
End Sub
Sub CopiaContinuo() 'Inicia copia peso parcial y divide para peso total
Set Mez = Worksheets("Mezcla"): Set Agr = Worksheets("Agre"): Set res =
Worksheets("Resumen")
FO = 52#: j = 0
Mez.Range("ab11:ah50").ClearContents
'Mez.Range("ab11:ah50").Font.Name = "Calibri":
Mez.Range("ab11:ah50").Font.Size = 8
For i = FO To FO + 22
For m = 1 To 5 Step 4
If i = 62 Then
i = i + 3: FO = FO + 13
End If
If j > 40 Then Exit For
If res.Cells(i, m) <> 0 And res.Cells(i, m + 1) <> 0 Then
j = j + 1
Gran(j, 3) = res.Cells(FO - 2, m) 'Tipo de material
Gran(j, 2) = i 'fila en la que se encuentra
Gran(j, 1) = res.Cells(i, m) 'Tamaño mm
Gran(j, 4) = res.Cells(i, m + 3) 'Masa retenida parcial
If m = 1 Then Mez.Cells(j + 10, 28).Formula = "=resumen!a" & i
'Referencia al tamaño
If m = 5 Then Mez.Cells(j + 10, 28).Formula = "=resumen!e" & i
For k = 29 To 30
Mez.Cells(j + 10, k) = Gran(j, k - 27) 'Mezcla B y C, fila y tipo
material
Next k
If m = 1 Then
Mez.Cells(j + 10, 31).Formula = "=resumen!d" & i & "/resumen!d" & FO
+ 10 & "*Resumen!C" & 43 + 2 * (FO - 52) / 13
End If
If m = 5 Then
Mez.Cells(j + 10, 31).Formula = "=resumen!h" & i & "/resumen!h" & FO
+ 10 & "*Resumen!C" & 44 + 2 * (FO - 52) / 13
End If
End If
End If
Next m
Next i
'Mezcla D es masa retenida dividida para densidad
'Finaliza copia inicia ordena
ActiveWorkbook.Worksheets("Mezcla").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Mezcla").Sort.SortFields.Add
Key:=Range("AB11"), _
SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Mezcla").Sort
.SetRange Range("Ab11:ae" & j + 10): .Header = xlNo: .MatchCase =
False
.Orientation = xlTopToBottom: .SortMethod = xlPinYin: .Apply
End With
Mez.Range("ae11:af" & j + 10).Calculate: Mez.Cells(9 + 27, 8) = Mez.Cells(13
+ 27, 5)
'Finaliza ordena inicia suma
k = 11: jj = 0 'K es Fila donde inicia el resumen
For i = 11 To j + 10
Tota = ""
If Mez.Cells(i, 28) * 1.03 < Mez.Cells(i - 1, 28) Then
Tota = Mez.Cells(i, 31).Formula
For jj = 1 To 8
If jj + i > 50 Then Exit For
If Int(100 * Mez.Cells(i + jj, 28)) = Int(100 * Mez.Cells(i, 28))
Then
Tota = Tota & "+" & Right(Mez.Cells(i + jj, 31).Formula,
Len(Mez.Cells(i + jj, 31).Formula) - 1)
End If

```

```

        Next jj
        k = k + 1
        If Tota <> "" Then Mez.Cells(i, 32).Formula = Tota
    End If
Next i
qq = j
'Finaliza suma inicia resumen
j = 1
Mez.Range("ae11:af" & qq + 10).Calculate
For i = 1 To qq
    If Mez.Cells(i + 10, 32).Text <> "" Then
        Resum(j, 1) = Mez.Cells(i + 10, 28).Formula: Resum(j, 2) = Mez.Cells(i
+ 10, 32).Formula
        Mez.Cells(j + 10, 33).Formula = Resum(j, 1): Mez.Cells(j + 10,
34).Formula = Resum(j, 2)
        If j > 1 Then If Mez.Cells(j + 10, 34) = 0 And Mez.Cells(j + 9, 34) =
0 Then Exit For
            j = j + 1
        End If
    End If
Next
End Sub

```

BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre Burneo, D., & Velez Mendoza, D. (2000). *Influencia de la inclusión de aire en la resistencia mecánica y en la trabajabilidad del hormigón*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
2. Alafec. (25 de 01 de 2006). <http://www.alafec.unam.mx/>. Recuperado el 23 de 11 de 2014, de http://www.alafec.unam.mx/docs/movilidad/costar_2008/TrabajosInvestigacion/TareaPrevia/TRABAJOINVESTLAFARGEECUADORGR04.pdf
3. American Concrete Institute. (1995). *ACI Manual of Concrete Practice* (Vol. 1). (V. Wiczorek, Ed.) Detroit, Michigan, USA: American Concrete Institute.
4. American Concrete Institute. (1995). *ACI Manual of Concrete Practice Part 1 Materials and General Properties of concrete*. Detroit: American Concrete Institute.
5. Arcila Lopez, C. A. (23 de Noviembre de 2010). *IX Convención Internacional del ACI Perú*. Recuperado el 14 de Mayo de 2015, de Asociación Capítulo Perú del ACI: http://www.aci-peru.org/eventos/IX_Conv_Nov/01_Carlos_Arcila_-_Nueva_normativa_sobre_durabilidad_ACI_318-08.pdf
6. Aris, I. D. (2008). *Artículos / Hormigón*. Recuperado el 21 de 04 de 2015, de http://www.concretonline.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=3266
7. Barnices Valentine. (17 de 08 de 2013). <http://www.valentine.es/>. Recuperado el 24 de 04 de 2015, de <http://www.valentine.es/portalbv/porta/user/anon/page/svdpartproductosaspectosdet.psmf?categoryOID=5B838080808580GC&contentid=&nl=es>
8. Baum, H. (31 de 12 de 2006). <http://tx.technion.ac.il/>. Recuperado el 23 de 04 de 2015, de http://tx.technion.ac.il/~nbri/research_reports/2006/529_2006_E.pdf
9. Baum, H., & Katz, A. (2006). Effect of High Levels of Fines Contents on Concrete Properties . *Materials Journal* , 474-482.
10. Becker, E. A. (13 de 5 de 2014). *Loma Negra CIASA*. Recuperado el 21 de 4 de 2015, de [fceia.unr.edu.ar: http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Bibliografia/REACCI%D3N%20%C1LCALIS%CDLICE.pdf](http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Bibliografia/REACCI%D3N%20%C1LCALIS%CDLICE.pdf)
11. COGUANUR. (11 de marzo de 2015). *Comisión Guatemalteca de normas*. Recuperado el 02 de abril de 2015, de Método de Ensayo. Análisis granulométrico: <http://www.conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41010h1.pdf>
12. Comisión Guatemalteca de normas. (11 de 3 de 2015). <http://www.conred.gob.gt>. Recuperado el 21 de 4 de 2015, de <http://www.conred.gob.gt/www/normas/NRD3/NTG41007.pdf>
13. Comité ACI 318. (2008). *Requisitos de reglamento para hormigón estructural (ACI 318S-08) y comentarios*. Detroit: American Concrete Institute.
14. Concrete Construction. (21 de 10 de 2014). *adding-water-to-concrete*. Recuperado el 21 de 10 de 2014, de moisture-in-concrete: <http://www.concreteconstruction.net/moisture-in-concrete/adding-water-to-concrete.aspx>
15. Concrete Construction. (12 de Septiembre de 2005). *problem-clinic1: Concrete Construction*. Recuperado el 07 de Octubre de 2014, de Concrete Construction: <http://www.concreteconstruction.net/concrete/problem-clinic1.aspx>
16. Constructor Civil. (01 de 2011). *Constructor Civil*. Recuperado el 20 de 04 de 2015, de <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/concreto-modulo-de-elasticidad.html>
17. d'Hainaut, C. A. (1976). <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2709/3021>. Recuperado el 20 de 04 de 2015
18. Encalada Figueroa, S., & Fuentes Naranjo, G. (2000). *La abrasión en los agregados y sus influencias en el hormigón fabricado con cemento puzolánico tipo IP*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
19. ESPOL. (01 de Febrero de 2014). *Tracción indirecta método Brasileño por Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Tierra*. Recuperado el 25 de Julio de 2014, de Slideshare: <http://es.slideshare.net/crispon993/traccion-indirecta-brasileo>

20. García Andren, C. (14 de Septiembre de 2009). *Instituto Tecnológico de Obras Publicas, Universidad de Alicante*. Recuperado el 23 de Febrero de 2015, de Universidad de Alicante: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/31/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%2012%20_Hormigones%20II-Dosificaci%C3%B3n.pdf
21. García Barrón, C. (25 de Diciembre de 2005). <http://www.xtec.cat>. Recuperado el 21 de Noviembre de 2014, de <http://www.xtec.cat/~cgarci38/ceta/tecnologia/ensayos.htm>
22. Giraldo Bolivar, O. (15 de Octubre de 2014). *bdigital de Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 09 de Enero de 2015, de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/43658/1/3352874.19946.pdf.pdf>
23. González Salcedo, L. O. (15 de Enero de 2008). *Conceptos generales agregados: Unal, Palmira*. Recuperado el 24 de Octubre de 2014, de Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/materiales/pdf/cap6/amplia/conceptos%20generales%20agregados.pdf>
24. González, G. M. (1974). *Materiales de construcción*. McGraw Hill.
25. Hispavista. (24 de Octubre de 2014). *Laboratorio2: Materiales de construcción: Galeon*. Recuperado el 24 de Octubre de 2014, de Galeon, Hispavista: <http://www.galeon.com/matcon/lab02/tamamax.htm>
26. Holcim Ecuador S.A. (26 de 02 de 2014). <http://www.holcim.com.ec>. Recuperado el 12 de 03 de 2015, de http://www.holcim.com.ec/fileadmin/templates/EC/doc/Archivos_varios/Folleto_Cemento_Holcim_GU.pdf
27. Hover, K. (21 de Octubre de 2014). *L&M Concrete News*. Recuperado el 21 de Octubre de 2014, de L&M Construction Chemicals: http://www.lmcc.com/concrete_news/0207/curing_and_hydration.asp
28. IDC Ingenierio de caminos. (2014). <http://www.ingeniero-de-caminos.com/2010/04/segregacion-del-hormigon.html>. Recuperado el 19 de 9 de 2015, de <http://www.ingeniero-de-caminos.com/2010/04/segregacion-del-hormigon.html>
29. INEN. (22 de Diciembre de 2012). <https://law.resource.org/>. Recuperado el 02 de Abril de 2015, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0490.2011.pdf>
30. Ingeniero Civil Info. (5 de 7 de 2012). <http://www.ingenierocivilinfo.com>. Recuperado el 20 de 04 de 2015, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2012/07/el-hormigon-y-la-temperatura.html>
31. Institut Tecnològic de Lleida. (20 de Enero de 2010). *Fichas Técnicas del ITL*. Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Instituto Tecnológico de Lleida: <http://www2.itl.cat:8080/Formacio/Es/web/FitxesTec/FichasTec.aspx?id=AP-017>
32. Jimenez Deleg, J. C., & Ortiz Mancero, J. R. (2001). *Elaboración de hormigones de alta resistencia inicial*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
33. *Manual visualizado de ensayos para materiales de construcción1980*QuitoPUCE
34. Mayor González, G. (1974). *Materiales de construcción*. McGraw Hill.
35. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (02 de Febrero de 2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Recuperado el 09 de Mayo de 2015, de Pagina web del Ministerio de desarrollo urbano y vivienda: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-HM.pdf>
36. Ministerio de Fomento, Gobierno de España. (2011). *EHE-08 Instrucción de hormigón estructural*. Madrid: Centro de publicaciones, Secretaría general técnica del Ministerio de fomento.
37. Miranda Rubio, V. (1991). *Hormigones cementos especiales: Estudio comparativo entre acelerantes y capeado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
38. Montalar, E. (15 de Noviembre de 2011). *Fernando Carneiro y el ensayo Brasileño: Enrique Montalar*. Recuperado el 02 de Febrero de 2014, de Blog de Geotécnia, Ingeniería y Opinión: <http://enriquemontalar.com/fernando-carneiro-y-el-ensayo-brasilenol/>
39. MOP. (1976). *Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito: Departamento de publicaciones MOP.
40. National Ready Mixed Concrete Association. (24 de Febrero de 2006). *Acerca del concreto: NRMCA*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Web de NRMCA: nrmca.org/aboutconcrete/cips/16p.pdf
41. Neville M., A. (1981). *Properties of Concrete*. Harlow: Pearson.

42. North Dakota, Department of transport. (23 de 02 de 2015). <http://www.dot.nd.gov/>. Recuperado el 24 de 04 de 2015, de <http://www.dot.nd.gov/manuals/materials/testingmanual/t2.pdf>
43. Nuñez, C. E. (09 de Junio de 2011). *En relacion a los tamices normalizados: Cenunez*. Recuperado el 24 de Octubre de 2014, de Sitio web personal de Carlos Eduardo Nuñez: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/55-Enrelacinalostamicesnormalizados.pdf>
44. Ohio Department of Transportation. (05 de Mayo de 2014). *Especificaciones para el agregado grueso*. Recuperado el 17 de Febrero de 2015, de Pagina web del departamento de transporte de Ohio: <https://www.dot.state.oh.us/Divisions/ConstructionMgt/OnlineDocs/Specifications/2013CMS/700/703.htm>
45. Oklahoma Highway Construction Materials Technician Certification Board (Dirección). (2012). *AASHTO T-2 - HCMTCB* [Película]. USA: <http://www.youtube.com/watch?v=qmCBnteY7NA>.
46. PROIN S.L. (01 de Diciembre de 2010). *Productos y servicios. Calculo: Proin S.L.* Recuperado el 06 de Abril de 2015, de Procedimientos Integrados S.L. Sevilla: www.proin.es/pdf/ficha_tecnica_calculo.pdf
47. Puente Machado, M., & Salazar Viteri, P. (2001). *Hormigón Autocompactante*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
48. Santa Ana de Bolueta. (21 de 03 de 2013). <http://www.sabo.es>. Recuperado el 24 de 04 de 2015, de <http://www.sabo.es/wp-content/uploads/2012/02/tamices.pdf>
49. Shih-Wei, C. (29 de Junio de 2014). *Tamkang University*. Recuperado el 05 de Abril de 2015, de Journal of Applied Science and Engineering: http://www2.tku.edu.tw/~tkjse/16-4/10-CE10103_760.pdf
50. Tamayo, S. O. (1999). *Determinación del aire atrapado y sus consecuencias en el hormigón*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
51. Unacem. (04 de marzo de 2015). <http://www.unacem.com.ec>. Recuperado el 02 de abril de 2015, de http://www.unacem.com.ec/wp-content/pdfs-fichas/selvalegre_saco.pdf
52. Unda Duque, R. G. (1987). *Influencia del Contenido del Material Fino que Pasa por el Tamiz Nº 200 en la Resistencia a la Compresión del Hormigón*. Quito: PUCE.
53. Unda Duque, R. G. (1986). *Influencia del contenido del material fino que pasa por tamiz Nº200 en la resistencia a la compresión del hormigón*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
54. Universidad Católica del Norte, Chile. (19 de Febrero de 2003). *laboratorio*. Recuperado el 11 de Marzo de 2015, de Universidad Católica del Norte: www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/fouryT6.htm
55. Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas. (23 de Marzo de 2012). <http://www.uca.edu.sv>. Recuperado el 23 de 05 de 2014, de <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materiales/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/DETERMINACION%20DE%20LA%20FINURA%20DEL%20CEMENTO%20PORTLAND.pdf>
56. Universidad de Oviedo. (01 de Diciembre de 2005). *Web de Francisco Blanco Álvarez*. Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de Universidad de Oviedo.España: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/LECCION3.MaterialesPetreosNATURALES.5-ARIDOS.HORMIGONES.Granulometria.pdf>
57. Universidad de Oviedo, España. (01 de 12 de 2005). <http://www6.uniovi.es/>. Recuperado el 24 de 04 de 2015, de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/LECCION3.MaterialesPetreosNATURALES.5-ARIDOS.HORMIGONES.Granulometria.pdf>
58. Universidade da Coruña. (15 de Abril de 2004). *Materiales construccion: E.T.S.I.* Recuperado el 12 de Enero de 2015, de Universidade da Coruña E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos: ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/1_Ciclo/Materiales_Construccion/Apuntes_2P/04.04_Hormigon.Dosificacion.pdf
59. Wikipedia. (22 de 04 de 2008). <http://es.wikipedia.org/>. Recuperado el 18 de 10 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Robert_Herman_Bogue
60. Wikipedia. (28 de 11 de 2006). <https://es.wikipedia.org/>. Recuperado el 12 de 03 de 2015, de https://es.wikipedia.org/wiki/Henry_Le_Ch%C3%A2telier

61. Wikipedia. (21 de 07 de 2014). <https://es.wikipedia.org/>. Recuperado el 04 de 09 de 2014, de https://es.wikipedia.org/wiki/Louis_Vicat
62. Wikipedia. (14 de 11 de 2014). *Mesh_(scale)*. Recuperado el 27 de 11 de 2014, de en.wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_%28scale%29