

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE: INGENIERÍA CIVIL



“DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN
PARA LA REGIÓN DE QUITO D.M, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA
DE PINTAG Y CEMENTO SELVALEGRE CON RESISTENCIAS A LA
COMPRESIÓN ESPERADAS DE 210, 280 Y 350 KG/CM²”

AUTORES:

BORJA SALAZAR ABEL RAMIRO
GUANOPATIN CAISACHANA JOSELINE DENISE

TUTOR:

INGENIERO LAURO ARMANDO LARA CARRERA

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

QUITO DM, SEPTIEMBRE DE 2022

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios que reconozco es omnipresente, pero que tengo seguridad que me acompaño su bendición en toda esta travesía estudiantil y personal, en donde tuve altos y bajos; y por mantener siempre a mi familia completa junto conmigo.

Quiero agradecer a mis padres Héctor e Irene por jamás perder la fe en mí, por el esfuerzo enorme que hicieron hasta verme convertida en una profesional, por aquellas batallas que superamos juntos y por todo su amor y comprensión.

Agradezco a mis abuelos Hilda y Ernesto por ser aquellos segundos padres que me brindan cada día su amor e incentivarne a cumplir mis metas pese aquellas adversidades que la vida pueda tener.

Quiero agradecer a Juan, Georgina, Clara, Germán, Iván, Paola, Santiago y Alex por ser esos padres y hermanos que con un consejo y todo su amor fueron una guía para ser una mujer de bien y tener mi mente enfocada en lo que un día me convertiría, una profesional.

Agradecer a mi tutor el Ing. Lauro Lara por su paciencia y los conocimientos impartidos hacia mí y mi compañero para que este trabajo de investigación concluya con excelencia.

Denise

Gracias Dios por la vida y por nunca dejarlo fácil.

Gracias madre por nunca rendirse.

Gracias Daniel por el ejemplo.

Abel

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Héctor e Irene por su último esfuerzo, por ser un ejemplo de trabajo y sacrificio y apoyarme en todas mi decisiones personales y estudiantiles.

Dedico este trabajo de investigación con mucho amor a mi abuelita Hilda Vega que fue un pilar fundamental a lo largo de mi vida ya que nunca dejo de creer en mí, tuvo fe en todo lo que me proponía y cada consejo lo llevo en mi corazón.

A mi hermano Emilio para que tome las mejores decisiones al largo de su vida y jamás deje de creer en sí mismo.

De manera especial dedico este trabajo a mi hijo Joaquín por ser esa personita que necesitaba para centrarme y enfocarme de manera más rigurosa en todo lo que quiero llegar a ser; por su bienestar, por verle siempre feliz y sintiéndose orgulloso de mi al verme convertida en una profesional con ética.

Denise

A mi madre, ¡lo logramos!

Abel

RESUMEN

El presente trabajo de disertación, tiene como objetivo determinar el Módulo de Elasticidad del Hormigón para la Región Quito DM, utilizando agregados de la mina de Pintag y cemento Selvalegre con resistencias a la compresión esperadas de 210, 280 Y 350 kg/cm², previamente se realizó los respectivos ensayos para caracterizar el agregado grueso, fino como el del cemento y así determinar si el material es apto para el diseño de mezclas de hormigón.

Las mezclas de hormigón de prueba realizadas en este trabajo de investigación fueron sometidas a ensayos de prueba para alcanzar las resistencias requeridas, y solo así se logró ensayar los especímenes a los 28 días como establece la norma ASTM C 469 -1994, para calcular el MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN.

Una vez obtenida la ecuación por el método que establece la norma ASTM C 469-1994 se realizó una comparación con el código ACI 318-2019, para conocer la diferencia entre ellas y la influencia que tiene los materiales usados en la región Quito DM – Ecuador y los materiales usados en Estados Unidos, lugar de creación del código ACI.

ABSTRACT

The objective of this dissertation work is to determine the Modulus of Elasticity of Concrete for the Quito DM Region, using aggregates from the Pintag mine and Selvalegre cement with expected compressive strengths of 210, 280 and 350 kg/cm², previously determined. carried out the different tests to characterize the aggregate, fine as cement, and thus determine if the material is suitable for the design of concrete mixtures.

The test concrete mixtures carried out in this research work were subjected to test tests to reach the required resistance, and only in this way were the specimens tested at 28 days as established by the ASTM C 469 -1994 standard, to calculate the MODULE OF STATIC ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION.

Once the equation was obtained by the method established by the ASTM C 469-1994 standard, a comparison was made with the ACI 318-2019 code, to know the difference between them and the influence of the materials used in the Quito DM region. – Ecuador and the materials used in the United States, place of creation of the ACI code.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
CAPITULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 ALCANCE	3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos	5
1.6 ANTECEDENTES	6
CAPITULO II.....	8
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 El Hormigón	8
2.2 Propiedades físicas, mecánicas y químicas del hormigón.....	9
2.2.1 Factores que intervienen en las propiedades físicas del hormigón.....	9
2.2.1.1 Factor térmico	9
2.2.1.2 Factor hídrico	9
2.2.1.3 Factor acústico.....	10
2.2.1.4 Factor masa y peso	10
2.2.1.5 Factor forma y dimensión	10
2.2.1.6 Factor textura.....	10
2.2.2 Factores que intervienen en las propiedades mecánicas del hormigón	11

2.2.2.1	Cargas.....	11
2.2.2.2	Esfuerzos	11
2.2.2.3	Adherencia	11
2.2.2.4	Deformaciones	11
2.2.3	Propiedades del hormigón fresco	12
2.2.3.1	Consistencia	12
2.2.3.2	Trabajabilidad.....	14
2.2.3.3	Homogeneidad	14
2.2.3.4	Compacidad.....	15
2.2.4	Propiedades del hormigón endurecido	15
2.2.4.1	Propiedades físicas del hormigón endurecido.....	16
2.2.4.1.1	Densidad	16
2.2.4.1.2	Retracción	16
2.2.4.1.3	Permeabilidad	17
2.2.4.2	Propiedades mecánicas del hormigón endurecido	17
2.2.4.2.1	Resistencia a la Compresión	17
2.2.4.2.2	Resistencia a la Tracción	18
2.2.4.2.3	Resistencia a la Flexión	19
2.2.4.2.4	Deformabilidad	19
2.2.4.2.5	Módulo de Elasticidad	20
2.2.4.2.6	Resistencia al Desgaste	22
2.2.4.3	Propiedades químicas del hormigón endurecido.....	22
2.2.4.3.1	Durabilidad	22
2.3	Resistencia mecánica del hormigón	23
2.4	Comportamiento elástico e inelástico del hormigón	23
2.5	Deformaciones.....	25
2.5.1	Deformación elástica	26

2.5.2	Deformación plástica.....	26
2.5.3	Deformación por contracción	27
CAPITULO III		28
3	ENSAYOS DE LOS MATERIALES.....	28
3.1	Materiales	28
3.1.1	Selección de los agregados procedentes de la mina Pintag	28
3.1.2	Muestreo	28
3.1.3	Reducción de muestras de agregados a tamaño de prueba.....	29
3.2	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados	31
3.2.1	Ensayo de Abrasión del agregado grueso	32
3.2.2	Ensayo de Contenido Orgánico del agregado fino	35
3.2.3	Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso y fino .	37
3.2.3.1	Gravedad específica del agregado fino y grueso.....	37
3.2.3.2	Porcentaje de absorción del agregado grueso y fino	40
3.2.4	Contenido de humedad del agregado grueso y fino	42
3.2.5	Granulometría del agregado grueso y fino	45
3.2.5.1	Material Fino que pasa el Tamiz N° 200 del agregado fino.....	49
3.3	Propiedades físicas y mecánicas del cemento	51
3.3.1	Gravedad específica del cemento	51
3.3.2	Consistencia Normal del cemento	54
3.1	Resumen de propiedades de los agregados y del cemento	56
CAPITULO IV		57
4	DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN	57
4.1	Métodos de Diseño	57
4.2	Método ACI 211.1 (Modificado).....	58
4.2.1	Resistencia a la compresión requerida del hormigón (f^c)	58
4.2.2	Resistencia a la compresión de diseño del hormigón (f^c diseño)	58

4.2.3	Selección del Asentamiento.....	59
4.2.4	Selección del tamaño máximo nominal del agregado	60
4.2.5	Estimación de la cantidad de agua de mezcla y contenido de aire	60
4.2.6	Relación agua cemento (a/c).....	61
4.2.7	Cantidad de cemento	62
4.2.8	Cantidad de agregado grueso y fino	62
4.2.8.1	Peso unitario del hormigón (UM)	62
4.2.8.2	Cantidad de agregados en estado saturado con superficie seca (SSS).. ..	62
4.2.8.3	Agregados en estado natural.	63
4.2.8.4	Cantidad de agua de mezcla.....	63
4.3	Diseño de mezclas para 210, 280 y 350 (kg/cm ²)	64
4.4	Resumen de diseño de mezclas de 210, 280, 350 (kg/cm ²).....	77
4.4.1	Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm ²).....	77
4.4.2	Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm ²).....	77
4.4.3	Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm ²).....	78
4.5	Determinación de las propiedades del hormigón fresco: Correcciones	79
4.5.1	Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba	79
4.5.2	Procedimiento de corrección de mezclas.....	79
4.5.2.1	Factor de corrección por peso unitario (F1)	79
4.5.2.2	Corrección del agua neta	80
4.5.3	Corrección de dosificación de mezclas de 210, 280 y 350 (kg/cm ²).....	80
4.5.3.1	Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba para resistencia a la compresión de 210 kg/cm ²	80
4.5.3.2	Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba para resistencia a la compresión de 280 kg/cm ²	83
4.5.3.3	Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba para resistencia a la compresión de 350 kg/cm ²	84

4.6	Resultados de ensayos a compresión de las mezclas a los 28 días.....	88
4.7	Determinación de las propiedades del hormigón fraguado.	90
CAPITULO V.....		92
5	DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD.....	92
5.1	Verificación y preparación de equipos para medir las deformaciones de especímenes de hormigón, a través del ensayo de compresión.	92
5.2	Determinación de la resistencia característica del hormigón.	94
5.2.1	Según Montoya – Meseguer – Moran	94
5.2.2	Según Oscar Padilla.....	100
5.2.3	Según Saliger	104
5.3	Determinación del módulo de elasticidad del hormigón	108
5.3.1	Determinación experimental del módulo de elasticidad y procesamiento estadístico de los resultados según la norma ASTM C469-94	108
5.3.1.1	Procesamiento estadístico de los resultados.....	110
5.3.1.2	Módulo de elasticidad experimental del hormigón por el Método ASTM C469-1994.	110
5.3.1.2.1	Resumen del Cálculo del Módulo de Elasticidad para mezclas de 210 kg/cm ²	118
5.3.1.2.2	Resumen del Cálculo del Módulo de Elasticidad para mezclas de 280 kg/cm ²	120
5.3.1.2.3	Resumen del Cálculo del Módulo de Elasticidad para mezclas de 350 kg/cm ²	122
5.3.2	Determinación teórica del módulo de elasticidad según la propuesta ACI 318-2019.	124
5.4	Resultados Finales	129
5.4.1	Resumen de Cálculo de Modulo de Elasticidad del hormigón para mezclas de 210 kg/cm ²	129
5.4.1.1.1	Módulo de Elasticidad Experimental.....	129

5.4.1.1.2	Módulo de Elasticidad Teórico.....	130
5.4.2	Resumen de Cálculo de Módulo de Elasticidad del hormigón para mezclas de 280 kg/cm ²	130
5.4.2.1.1	Módulo de Elasticidad Experimental.....	130
5.4.2.1.2	Módulo de Elasticidad Teórico.....	131
5.4.3	Resumen de Cálculo de Módulo de Elasticidad del hormigón para mezclas de 350 kg/cm ²	131
5.4.3.1.1	Módulo de Elasticidad Experimental.....	131
5.4.3.1.2	Módulo de Elasticidad Teórico.....	132
5.4.4	Planteamiento de la ecuación Experimental del Módulo de Elasticidad del Hormigón para la región Quito DM con materiales de la mina Pintag y cemento Selvalegre	132
5.4.4.1	Ecuación Propuesta.	132
5.4.4.1.1	Cálculo de Factor (γ) para la Ecuación de Modulo de elasticidad según el ACI 318 -19.2.2(b).	133
5.4.4.1.2	Cálculo de Factor (α) para la Ecuación de Modulo de elasticidad según el ACI 318 -19.2.2(a).....	134
CAPITULO VI	.....	135
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
6.1	Conclusiones.....	135
6.1.1	Conclusión General	135
6.1.2	Conclusiones Especificas	135
6.2	Recomendaciones	139
ANEXOS	.....	141
BIBLIOGRAFIA	.....	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Mesa de sacudidas de Graf para Hormigones Fluidos	13
Tabla 2.2 Consistómetro Vebe para Hormigones muy secos.....	13
Tabla 2.3 Consistencia Asentamiento y Trabajabilidad del Cono de Abrams	14
Tabla 2.4 Resistencia a la Compresión y Resistencia a la Tracción.....	18
Tabla 3.1 Normas de ensayos Físicos y Mecánicos de los materiales	31
Tabla 3.2 Granulometría de las muestras de ensayo	32
Tabla 3.3 Carga dependiendo de la granulometría de la muestra de ensayo	33
Tabla 3.4 Requerimientos de Tamizado en Agregados Gruesos.....	46
Tabla 3.5 Limites de Graduación del Agregado Fino	46
Tabla 4.1 Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción	59
Tabla 4.2 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales de agregados.....	60
Tabla 4.3 Relación Agua-Material Cementante y Resistencia a Compresión del Concreto. Adaptada del ACI 211.1, ACI 211.3 e Ingeniero Lauro Lara	61
Tabla 4.4 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm ²).....	77
Tabla 4.5 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm ²)	78
Tabla 4.6 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm ²)	78
Tabla 4.7 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 210 (kg/cm ²) _ Primera Reestimación	80
Tabla 4.8 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm ²) _ Primera Reestimación	81
Tabla 4.9 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 210 (kg/cm ²) _ Segunda Reestimación	81
Tabla 4.10 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm ²) _ Segunda Reestimación	82

Tabla 4.11 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm ²) _ para 17 especímenes.....	82
Tabla 4.12 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 280 (kg/cm ²) _ Primera Reestimación	83
Tabla 4.13 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm ²) _ Primera Reestimación	83
Tabla 4.14 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm ²) _ para 17 especímenes.....	84
Tabla 4.15 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 350 (kg/cm ²) _ Primera Reestimación	84
Tabla 4.16 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm ²) _ Primera Reestimación	85
Tabla 4.17 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 350 (kg/cm ²) _ Segunda Reestimación	85
Tabla 4.18 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm ²) _ Segunda Reestimación	86
Tabla 4.19 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 350 (kg/cm ²) _ Tercera Reestimación	86
Tabla 4.20 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm ²) _ Tercera Reestimación	87
Tabla 4.21 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm ²) _ para 17 especímenes.....	88
Tabla 5.1 Resumen del cálculo del Módulo de Elasticidad Experimental para mezclas de 210 kg/cm ²	119
Tabla 5.2 Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental característico según la propuesta ASTM C469 para mezclas de 210 kg/cm ²	120
Tabla 5.3 Resumen del cálculo del Módulo de Elasticidad Experimental para mezclas de 280 kg/cm ²	121
Tabla 5.4 Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental característico según la propuesta ASTM C469 para mezclas de 280 kg/cm ²	122

Tabla 5.5 Resumen del cálculo del Módulo de Elasticidad Experimental para mezclas de 350 kg/cm ²	123
Tabla 5.6 Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental característico según la propuesta ASTM C469 para mezclas de 350 kg/cm ²	124
Tabla 5.7 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 210 kg/cm ²	125
Tabla 5.8 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 280 kg/cm ²	126
Tabla 5.9 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico según la propuesta ACI 318 y 363 para mezclas de 350 kg/cm ²	127
Tabla 5.10 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico característico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 210 kg/cm ²	128
Tabla 5.11 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico característico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 280 kg/cm ²	128
Tabla 5.12 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico característico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 350 kg/cm ²	129
Tabla 5.16 Calculo de Factor (γ) para planteamiento de la Ecuación de Modulo de Elasticidad	133
Tabla 6.1 Análisis de Calidad del Agregado Grueso de la Mina Pintag - Pichincha.	137
Tabla 6.2 Análisis de Calidad del Agregado Fino de la Mina Pintag – Pichincha.....	137
Tabla 6.3 Análisis de Calidad del Cemento Selvalegre.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva Esfuerzo – Deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.....	20
Figura 2.2 Comportamiento Esfuerzos - Deformación del Hormigón sometido a esfuerzos de compresión.....	21
Figura 2.3 Curva Esfuerzo - Deformación del Hormigón	24
Figura 3.1 Vista Panorámica de la Mina Pintag - “REVTON S.A.”	28
Figura 3.2 Método de Cuarteo - Agregado Grueso	30
Figura 3.3 Método de Cuarteo – Agregado Fino	30
Figura 3.4 Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	47
Figura 3.5 Curva Granulométrica del Agregado Fino	48
Figura 5.2 Distribución normal de resistencia a la compresión del hormigón.	95
Figura 5.3 Módulo de Elasticidad - Método de la Secante.....	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Visita Cantera REVTON S.A. del Arquitecto Pedro Bonilla.....	141
Anexo 2: Cuarteo Mecánico del Agregado Fino y Grueso.	142
Anexo 2.1 Agregado Fino	142
Anexo 2.2 Agregado Grueso.....	142
Anexo 3: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso.....	143
Anexo 4: Ensayo de Gravedad Especifica del Agregado Grueso.	144
Anexo 5: Ensayo de Gravedad Especifica del Agregado Fino.	145
Anexo 6: Ensayo de Contenido Orgánico del Agregado Fino.	146
Anexo 7: Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso.	147
Anexo 8: Ensayo de Granulometría del Agregado Fino.	148

Anexo 9:	Ensayo de Gravedad Especifica del Cemento.	149
Anexo 10:	Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.....	150
Anexo 11:	Mezclas de Hormigón de Prueba.....	151
Anexo 12:	Fundición de Mezclas Definitivas de 210 kg/cm ²	152
Anexo 13:	Fundición de Mezclas Definitivas de 280 kg/cm ²	153
Anexo 14:	Fundición de Mezclas Definitivas de 350 kg/cm ²	154
Anexo 15:	Toma de medidas de las muestras.	155
Anexo 16:	Ensayo de Resistencia a la Compresion.	156
Anexo 17:	Ensayo de Resistencia a la Compresion con Modulo de Elasticidad.....	157
Anexo 18:	Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado de Agregado Grueso.	158
Anexo 19:	Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado de Agregado Fino.	159
Anexo 20:	.....	160
Tabla 20.1	Calculo de Resistencias para mezclas de 210 kg/cm ²	160
Tabla 20.2	Calculo de Resistencias para mezclas de 280 kg/cm ²	161
Tabla 20.3	Calculo de Resistencias para mezclas de 350 kg/cm ²	162

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El hormigón es una piedra artificial, la cual es formada por cuatro componentes básicos: agua, cemento, agregado fino y grueso.

El hormigón en la construcción ha llegado a ser de gran importancia debido a su trabajabilidad y consistencia.

El hormigón lleva consigo una variedad de propiedades fundamentales entre ellas el módulo de elasticidad estático, que es empleado para el cálculo de rigidez en los elementos estructurales.

El presente trabajo de titulación, nos permitirá determinar el verdadero valor del módulo de elasticidad del hormigón para la región Quito DM utilizando agregados de la mina de Pintag y cemento Selvalegre con resistencias a la compresión esperadas de 210, 280 y 350 kg/cm², mismas que son utilizadas en nuestro medio para así obtener mayor precisión en diseños y análisis de estructuras.

Con la intención de obtener la ecuación zonal para la región Quito DM , con los materiales mencionados anteriormente , se realizó la evaluación de las propiedades mecánicas del agregado grueso y fino, además de las del cemento ; posteriormente continuamos con las dosificaciones para resistencias esperadas de 210 ,280 y 350 kg/cm², resistencias más comunes en nuestro país ; finalizando con el ensayo de Resistencia a la Compresión con determinación del Módulo de Elasticidad a los 28 días después de su elaboración .

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se sabe que el hormigón es un material estructural en donde sus componentes principales son los agregados fino y grueso, cemento y agua; pero la incertidumbre nace al crear este material de construcción, al no conocer el porqué de sus propiedades, debido a esto el hormigón como producto final depende en gran magnitud de las propiedades de sus agregados que son los elementos de mayor volumen que lo conforman, tales como : densidad, forma, tamaño, textura superficial, dureza y varias más que analizaremos en este trabajo de investigación, para de esta forma entender mejor el comportamiento del hormigón como material estructural.

De la incertidumbre mencionada nace la necesidad de conocer las propiedades mecánicas de los agregados con los que el hormigón es fabricado y así conocer una de sus propiedades más importantes que es el Módulo de Elasticidad en base al ensayo de Resistencia a la Compresión.

De investigaciones realizadas en EEUU por institutos como; American Concrete Institute (ACI) y el American Society for Testing and Materials (ASTM), se han adoptado ecuaciones y valores exclusivos para su medio y con materiales propios; sin embargo, estos valores adoptados por normas ecuatorianas no satisfacen el comportamiento en Ecuador.

Por esta razón este trabajo de investigación se compromete en determinar Módulo de Elasticidad del Hormigón para la región de Quito D.M, utilizando Agregados de la mina de Pintag y cemento Selvalegre.

1.3 ALCANCE

En el Distrito Metropolitano de Quito en la actualidad la mayoría de construcciones , han sido diseñadas con hormigones de peso normal , en donde el módulo de elasticidad ha sido calculada por la fórmula propuesta por el (ACI 318, 2019), misma que fue obtenida con materiales y diseños en Estados Unidos de Norteamérica, la cual ha sido adoptada por la (NEC-SE-HM, 2015) .

El usar este módulo de elasticidad de forma general en todas las construcciones dentro y fuera de la ciudad ha causado gran incertidumbre ya que el hormigón que ha sido diseñado para una determinada estructura y en un determinado sitio ,no tendrá el mismo comportamiento en otra estructura y en otro sitio , debido a que el módulo de elasticidad afectara directamente a las dimensiones de las secciones de la estructura, así como el agrietamiento a producirse en las mismas; entonces al influir el módulo de elasticidad en las secciones de los elementos estructurales , este no solo afectara a la seguridad y estabilidad de la construcción, sino también a la parte económica.

La presente investigación se realiza con la siguiente hipótesis:

El módulo de elasticidad de hormigones de peso normal empleados en Quito, diseñados con materiales típicos utilizados en las construcciones de la ciudad, difiere del módulo de elasticidad calculado con ACI 318, pues las características y condiciones de los materiales (pétreos, cemento, agua), mano de obra, técnica y tecnológica constructiva, condiciones medio-ambientales, etc., varían notablemente entre USA sitio de realización del código y Ecuador, sitio de la presente investigación.

La utilización de los agregados de la mina de Pintag y el cemento Selva alegre supone una variación en el coeficiente que interviene en la fórmula del capítulo 19 del ACI 318 adoptada por la NEC -15 para la determinación del Módulo de Elasticidad.

Al ser Ecuador un país sísmico, se debe prestar mayor importancia a la variación del módulo de elasticidad real de Quito DM versus el módulo de elasticidad propuesto por el ACI 318, ya que de él depende el diseño y análisis de las estructuras, ya que esto conlleva a un análisis

erróneo de fuerzas sísmicas, rigidez lateral de piso, e influye directamente en el cálculo de derivas de las estructuras.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tras la catástrofe ocurrida en el 2016, las estructuras especialmente en la región costa fueron muy afectadas, el terremoto con epicentro en la ciudad de Muisne ha hecho que autoridades tomen conciencia debido a la vulnerabilidad de las estructuras, debido al no cumplimiento de la normativa de construcción, con lo mencionado es de suma necesidad plantear métodos y coeficientes acordes a nuestro país y a las situaciones que han surgido en los últimos años.

Ecuador se encuentra en un desarrollo poblacional importante, Quito la capital es una ciudad importante con gran demanda en el sector constructivo, por esta razón se debe tener consideraciones importantes ya que Quito se encuentra en un país sísmico.

De acuerdo a los expertos del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, la gran estructura que atraviesa todo el valle en la capital ecuatoriana se origina al sur, en el sector de Santa Rosa, en Tambillo, y se prolonga hasta San Antonio de Pichincha, en la Mitad del Mundo. Atraviesa todo el valle de la capital donde se asientan sectores como La Ecuatoriana, Guamaní, centro histórico, centro norte de la ciudad y Pomasqui. Conocida como falla inversa, se calcula que este sistema de fallas tiene una longitud de alrededor de 60 kilómetros, pero está segmentada.

Toda esta información hace que se profundice la investigación con respecto a los materiales que se utilizaran en construcciones actuales y futuras con énfasis en los agregados, es decir conocer su módulo de elasticidad y consigo el módulo de elasticidad del hormigón fabricado; ya que de esto dependerá el servicio óptimo de las edificaciones plantadas en Quito DM.

Por tal motivo es de suma necesidad tener coeficientes adecuados y acordes a la realidad de los materiales de construcción y principalmente el módulo de elasticidad propiedad mecánica que caracteriza al hormigón y que influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura y por lo tanto obtener diseños acertados en Quito DM.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Determinar el módulo de elasticidad del hormigón para la región de Quito D.M, utilizando agregados de la mina de Pintag y cemento Selva Alegre con resistencias a la compresión esperadas de 210, 280 y 350 kg/cm².

1.5.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los agregados fino y grueso para la elaboración del hormigón procedentes de la mina de agregados localizados en Pintag provincia de Pichincha.
- Dosificación y fabricación de hormigones para las resistencias esperadas de 210, 280 y 350 kg/cm².
- Determinar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad para diferentes dosificaciones empleando la norma (ASTM C 469, 1994) y (ASTM C 39, 2001) (NTE INEN 3124, 2017) respectivamente.
- Elaboración de las curvas esfuerzo-deformación de los hormigones.
- Determinar la ecuación de módulo de elasticidad de los hormigones elaborados y compararlo con el especificado en la (NEC-SE-HM, 2015).
- Comparar el módulo de elasticidad realizado mediante ensayos de laboratorio con el especificado por el comité del (ACI 318, 2019).

1.6 ANTECEDENTES

Las empresas privadas productoras de hormigón premezclado son las que realizan con mayor énfasis estas investigaciones.

El ACI 318-19 (American Concrete Institute), propone como valor referencial la ecuación que se muestra a continuación:

- a) Para valores de w_c entre 1440 y 2560 kg/m³.

$$E_c = 0.14 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

- b) Para concreto de peso normal de 2320 kg/m³.

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

La ecuación b) ha sido adoptada por las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC-SE-HM, 2015) , pero como es de conocimiento público no se ajusta a la realidad , ya que esta ecuación ha sido obtenida en otro país con materiales de ese sitio y no de Ecuador.

La Escuela Politécnica Nacional establece una ecuación para los siguientes materiales utilizados en la Hormigonera Quito:

Pifo + Lafarge $E_c = 3875 \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)}$

La Escuela Politécnica del Ejército muestra sus ecuaciones para los siguientes materiales utilizados:

Pifo + Holcim $E_c = 3457 \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)}$

Pifo + Selva Alegre $E_c = 3381 \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)}$

La Pontificia Universidad Central del Ecuador muestra sus resultados para los siguientes materiales:

San Antonio + Holcim $E_c = 8200 * \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

Se puede observar que ninguna de las ecuaciones satisface la ecuación propuesta por el American Concrete Institute (ACI), por esta razón en el presente proyecto de investigación se determinara el módulo de elasticidad que satisfaga el interés de conocer un valor acorde a las necesidades y diferenciarlo de los materiales usados en este diseño.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El Hormigón

El hormigón puede definirse como un conglomerado fabricado artificialmente, compuesto de agregados fino y grueso, más la incorporación de aglomerante y agua en cantidades dosificadas; en ocasiones se puede añadir algún aditivo con el fin de ayudar al hormigón a obtener ciertas propiedades que no posee.

El hormigón como material de construcción es diseñado rigiéndose a especificaciones y normas que permitan determinar características como: durabilidad, compresión, impermeabilidad, dureza, peso específico y muchas otras más. Las características del hormigón necesarias para ejecutarse en obra son velocidad de fraguado, consistencia, trabajabilidad, etc.

El hormigón posee varias propiedades que son primordiales para el diseño y análisis de estructuras entre las más fundamentales están la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidades mismas que son directamente proporcionales a las dimensiones de la sección, peso unitario, resistencia a la abrasión de los agregados, entre otros.

En la dosificación de hormigones, la intervención de los agregados finos y gruesos es de real importancia por la cantidad con la que se presentan en la mezcla; ya que al ser incorporados de esta forma establecen las propiedades mecánicas más importantes de los hormigones necesarios para el diseño y análisis de las estructuras.

En el presente trabajo de investigación se habla de hormigón el cual se refiere al fabricado con cemento Portland. El cemento usualmente se presenta en forma de polvo extremadamente fino, el cual al mezclarse con agua forma una pasta, la cual al endurecerse por reacciones químicas forman una roca artificial adquiriendo una resistencia a la compresión propia.

El hormigón en fase de elaboración, en primera instancia se denomina hormigón fresco ya que se encuentra en estado líquido; en cuanto el cemento tiene contacto con el agua empieza

la reacción química en donde el cemento comienza a hidratarse, el que en su primera fase se caracteriza por el cambio de estado líquido a sólido en un tiempo determinado. Es indispensable mencionar que la reacción química que produce el agua-cemento produce calor por lo que el hormigón necesita ser curado para que no se produzca fisura, agrietamientos y alcance su resistencia máxima.

2.2 Propiedades físicas, mecánicas y químicas del hormigón

Para el uso adecuado de los hormigones se debe tener en cuenta el control de sus propiedades; para que el hormigón cumpla una función específica, se debe controlar sus propiedades físicas y mecánicas.

2.2.1 Factores que intervienen en las propiedades físicas del hormigón

2.2.1.1 Factor térmico

Este factor interviene en el uso adecuado de los materiales frente a elevadas y bajas temperaturas. El factor térmico también nos ayuda a actuar frente a la dilatación o contracción que sufren los hormigones a consecuencia de la reacción química por fraguado.

2.2.1.2 Factor hídrico

El hormigón como material de construcción tiene diferentes usos entre ellos los que son sometidos a las acciones del agua en presas, embalses, tanques, etc.; por lo que se fabricaran hormigones impermeables que son logrados con la ayuda de aditivos y diseñados para soportar presiones horizontales.

2.2.1.3 Factor acústico

Son hormigones diseñados especialmente para absorber, reflejar o aislar completamente el sonido o el ruido, entre ambientes según la aplicabilidad del hormigón. (Asmal et al., 2012, Pág 8)

2.2.1.4 Factor masa y peso

La masa y peso en hormigones, permiten definir el uso de los hormigones de la siguiente manera: de (3.5 a 5) kg/dm³ como hormigones de alta densidad, de (2.2 a 2.5) kg/dm³ de mediana densidad o normales y de (0.2 a 1.5) kg/dm³ de baja densidad o livianos; esta propiedad del hormigón se mide mediante el ensayo de determinación de peso específico, el mismo que depende de los agregados y el proceso de colocación. (Asmal et al., 2012 ,Pág 8)

2.2.1.5 Factor forma y dimensión

Este factor está estrechamente ligado con la trabajabilidad del hormigón, ya que está relacionada con la función constructiva, la resistencia y la estética.

2.2.1.6 Factor textura

Este factor se basa en la estética ya que un hormigón puede tener una apariencia, lisa o rugosa; dependiendo del uso del mismo ya que este puede ser visto o es recubierto.

El hormigón es un material constructivo capaz de resistir altos esfuerzos de compresión, pero cabe recalcar que sus propiedades mecánicas se encuentran ligados a la acción de fuerzas externas, esfuerzos internos y los efectos de su propio peso y que su resistencia a esfuerzos de tracción es limitada o nula.

2.2.2 Factores que intervienen en las propiedades mecánicas del hormigón

2.2.2.1 Cargas

Son las fuerzas ejercidas a los elementos resistentes o también a su propio peso. Estas cargas pueden ser según su naturaleza: estáticas, cíclicas o de repetición y de impacto; dependiendo de su disposición se presentan concentradas o distribuidas. Por lo tanto, toda fuerza que impacte de alguna manera la estructura, es a lo que llamamos cargas estructurales. (Asmal et al., 2012, Pág 9)

2.2.2.2 Esfuerzos

Los esfuerzos son una consecuencia de las cargas aplicadas a la estructura; en este caso el material estructural es representado por el hormigón de forma volumétrica, el cual soporta esfuerzos axiales, de corte y torsión.

2.2.2.3 Adherencia

Se denomina adherencia a la interacción física que se produce entre la masa de hormigón y el acero, permitiendo la transferencia y continuidad de esfuerzos y fuerzas entre los dos cuerpos en contacto, asegurando con ello un trabajo en conjunto.

2.2.2.4 Deformaciones

El hormigón es uno de los materiales empleados en la construcción que como se sabe no es totalmente rígido, la deformación del mismo se define como una

alteración del estado físico debido a una fuerza mecánica externa, a una variación de temperatura, gravedad, peso propio, por contracción de fraguado, por el tiempo de funcionamiento, etc. (Asmal et al., 2012, Pág 10)

2.2.3 Propiedades del hormigón fresco

El hormigón fresco se obtiene mezclando el agregado fino y grueso, agua y cemento esta mezcla debe ser plástica o semifluida, capaz de ser moldeada a mano. Desde el primer momento de amasado se producen reacciones químicas lo cual condiciona que el tiempo del hormigón en estado fresco es muy corto, por lo que se debe realizar el análisis de sus propiedades y moldearlo antes que el hormigón inicie la reacción de fraguado.

2.2.3.1 Consistencia

Esta propiedad se relaciona con el estado de fluidez de la mezcla, que denota la manejabilidad (capacidad para deformarse) y el efecto de ocupar todos los espacios del molde en donde será colocado el hormigón. Los principales factores que afectan la consistencia son:

- El contenido de agua en la mezcla.
- La granulometría del agregado.
- La fluidez que aumenta con la finura y el tipo de cemento.
- Insuficiente cantidad de cemento.
- Exceso de tiempo en el transporte.

Los métodos para determinar la consistencia son:

- *La mesa de sacudidas de Graf* para hormigones fluidos con asentamiento mayor de 15 cm; este ensayo nos indica la consistencia y su tendencia a la segregación en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Mesa de sacudidas de Graf para Hormigones Fluidos

FORMA DE COMPACTACIÓN	CONSISTENCIA
Vibrado Energético	Seca
Vibrado normal	Plástica
Apisonado Blando	Blanda
Picado con barra	Fluida

FUENTE: Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'c=21,28$ MPA) fabricado con material de la mina Pintag. (Tabla 2.2. Pág. 12).

(Asmal et al., 2012)

- *El consistómetro Vebe* para hormigones muy secos con asentamientos nulos; la tabla 2.2 indica la consistencia y el tiempo Vebe.

Tabla 2.2 Consistómetro Vebe para Hormigones muy secos.

CONSISTENCIA SECA	Tiempo Vebe (seg)
Extremadamente seca	305-185
Muy seca	185-105
Seca	105-55

FUENTE: Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'c=21,28$ MPA) fabricado con material de la mina Pintag. (Tabla 2.3. Pág. 12).

(Asmal et al., 2012)

- *El cono de Abrams*, la pérdida de altura de la masa fresca de hormigón, da la medida de su consistencia en centímetros, la tabla 2.3 muestra la consistencia y el asentamiento en centímetros.

Tabla 2.3 Consistencia Asentamiento y Trabajabilidad del Cono de Abrams

CONSISTENCIA	ASIENTO (cm)	TOLERANCIA (cm)
Seca (S)	0-2	0
Plástica (P)	3-5	±1
Blanda (B)	6-9	±1
Fluida (F)	10-15	±2
Líquida (F)	16-20	±2

FUENTE: https://twitter.com/mundo_hormigon/status/860180835697381377?lang=gl

2.2.3.2 Trabajabilidad

Es la facilidad de manejo del hormigón en estado fresco en cuanto al transporte y colocación, evitando que sus componentes se separen y que una vez colocado garantice envolver completamente las armaduras, llenando todos los espacios.

La trabajabilidad depende de:

- Cantidad de agua de amasado.
- Granulometría de los agregados.
- Forma de los agregados, debido a que la docilidad es mayor para áridos redondeados.
- Cantidad de cemento ya que la docilidad aumenta con la cantidad de cemento.
- La docilidad se aumenta mediante el uso de plastificantes. (Asmal et al., 2012, Pág 14)

2.2.3.3 Homogeneidad

Es la cualidad de distribución de todos los componentes que conforman el hormigón por toda la masa y en las mismas proporciones. El defecto de

segregación y decantación de los agregados debido al transporte es uno de los principales oponentes a la homogeneidad.

Los fenómenos de segregación y decantación aumentan con la cantidad de agua, con el tamaño máximo de los agregados, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la colocación en obra en caída libre.

La homogeneidad depende de:

- Correcto amasado (hormigón trabajable).
- Adecuado transporte.
- Buena colación en obra.

2.2.3.4 Compacidad

Es la cantidad de material sólido contenido en el conjunto de volumen de hormigón. La compacidad está ligada al peso específico. (Asmal et al. 2012, Pág 15)

La compacidad incide en varias propiedades del hormigón como: resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

2.2.4 Propiedades del hormigón endurecido

Se toma el nombre de hormigón endurecido cuando el hormigón ha fraguado debido a la reacción química que produce el agua y el cemento. Las características físicas, mecánicas y químicas del hormigón son las siguientes:

2.2.4.1 Propiedades físicas del hormigón endurecido

2.2.4.1.1 Densidad

Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado.

Para los hormigones convencionales formados por materiales granulares provenientes de rocas no mineralizadas de la corteza terrestre su valor oscila entre 2,20 T/m³ y 2,70 T/m³. También, el peso unitario experimenta ligeras variaciones con el tiempo, provenientes de la evaporación del agua de amasado y pueden significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su valor inicial.”

Los hormigones se clasifican en:

Pesados: con densidades superiores a 2,6 t/m³.

Ligeros: para densidades inferiores a 2 t/m³.

Normales: con densidades entre 2 y 2,6 t/m³. (Garcia, 2013,Pág 18)

2.2.4.1.2 Retracción

Es la contracción o disminución de volumen del hormigón curado al aire, como consecuencia de la pérdida del agua al ser amasado.

Factores que influyen en la retracción:

- El cemento por la reacción que provoca con el agua.
- Inadecuada granulometría en los agregados y mayor contenido de finos.

- Aumento de agua.
- Forma del elemento hormigonado, a menor espesor mayor retracción se produce (más superficie de exposición). (Garcia, 2013,Pág 20)

2.2.4.1.3 Permeabilidad

Es la cualidad que tiene el hormigón a ser accesible a los líquidos o gases. El componente que influye en esta propiedad es la relación agua cemento; ya que entre mayor es mayor será la permeabilidad y por tanto más expuesto estará el hormigón a potenciales agresiones.

2.2.4.2 Propiedades mecánicas del hormigón endurecido

2.2.4.2.1 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión (f^c) del hormigón se realiza a una edad de 28 días de fraguado bajo control de humedad, se define a esta propiedad como la máxima resistencia que se determina en muestras cilíndricas sometidas a cargas axiales incrementadas hasta su rotura. Los especímenes son muestras estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.(Asmal et al., 2012, Pág 18)

Generalmente se expresa en megapascales (Mpa) y en kilogramos por centímetros al cuadrado (kg/cm^2).

Las resistencias más comunes del hormigón están entre 210 y 350 (kg/cm^2); aquellos hormigones que tienen resistencias mayores a 450 (kg/cm^2) son denominados hormigones de alta resistencia, estas resistencias están estrechamente ligadas con la relación agua/cemento, nivel de compactación, cantidad de cemento y granulometría de los agregados.(García, 2013, Pág 21)

La norma (ASTM C 39) es la que especifica el proceso para determinar la resistencia a la compresión del hormigón.

2.2.4.2.2 Resistencia a la Tracción

El hormigón es un material que tiene una capacidad pobre o ineficiente para resistir esfuerzos de tracción, la resistencia a estos esfuerzos es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a la compresión.

Para determinar la resistencia la tracción se realiza generalmente el ensayo brasilero (ASTM C 496), este tiene una cierta similitud al ensayo de compresión ya que en todo lo largo de los especímenes se les coloca esfuerzos hasta su falla, la tabla 2.4 muestra el equivalente de la resistencia a la tracción para diferentes resistencias a la compresión. (Garcia, 2013,Pág 22)

Tabla 2.4 Resistencia a la Compresión y Resistencia a la Tracción

Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	Resistencia a la Tracción (kg/cm²)
210	28
280	33
350	37
420	41
630	50
840	58

FUENTE: Módulo Estático de Elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f_c = 21$ y 28 MPa, fabricado con materiales de la mina de Guayllabamba-Pichincha y Cemento Selvalegre. (Tabla 2.3. Pág. 23). (Morales et al., 2012).

2.2.4.2.3 Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión del hormigón, se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión, puede servir como índice comparativo de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión.

La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un hormigón de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. (Garcia, 2013, Pág 23)

2.2.4.2.4 Deformabilidad

Cuando el hormigón se somete a cargas de larga duración, el material tiene una deformación instantánea en el momento inicial de la carga, y una deformación adicional a largo plazo como producto del flujo plástico del hormigón. La deformación a largo plazo depende de la resistencia del hormigón, y es comparativamente mayor cuando se utilizan hormigones de menor resistencia. (Romo, 2008, Pág 22)

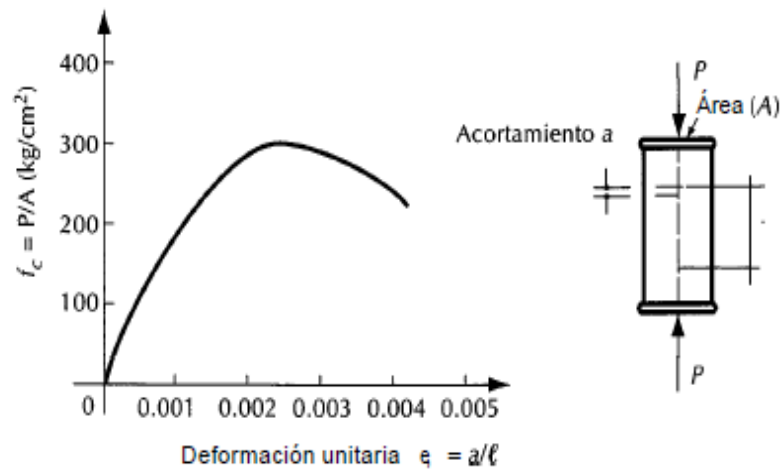


Figura 2.1 Curva Esfuerzo – Deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.

FUENTE: Aspectos fundamentales del concreto reforzado. (Figura 2.1. Pág.34).
(González Cuevas & Fernández Villegas, 2005)

2.2.4.2.5 Módulo de Elasticidad

Para estimar deformaciones debidas a cargas, donde se puede admitir un comportamiento elástico sin errores importantes, es necesario definir un valor de módulo de elasticidad. Del estudio de las curvas esfuerzo de compresión-deformación resulta la determinación de esta propiedad.

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez es decir la resistencia del hormigón a la deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos de trabajo. (Garcia, 2013, Pág 25)

El módulo de elasticidad del hormigón no fisurado puede calcularse mediante la siguiente formula que se especifica en el Código Ecuatoriano de la Construcción y en el Código ACI 318-19. (Romo, 2008, Pág 175)

Esta ecuación es satisfactoria para hormigones con agregados de peso normal y resistencias normales y medias.

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Donde:

E_c= Modulo de Elasticidad

f'_c=Resistencia a la compresión simple

Podemos definir dos métodos para el cálculo del módulo de elasticidad, basadas en consideraciones empíricas. Así podemos definir el módulo tangente inicial o tangente a un punto determinado de la curva esfuerzo deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma, como se muestra en la figura 2.2.

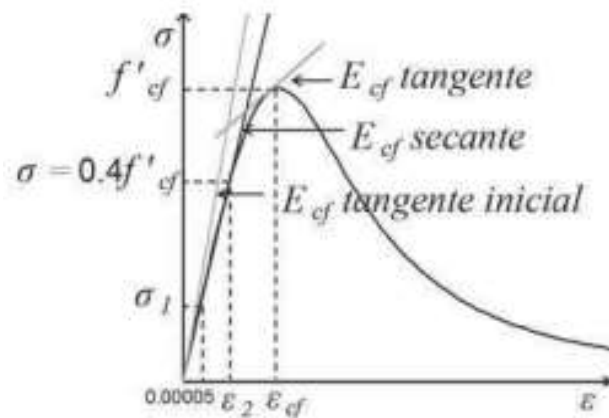


Figura 2.2 Comportamiento Esfuerzos - Deformación del Hormigón sometido a esfuerzos de compresión.

FUENTE: Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero zp-306 sometido a esfuerzos de compresión. (Figura 1. Pág.119). (Gallo et al., 2013)

La norma (ASTM C 469) establece un método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad para el hormigón en compresión.

2.2.4.2.6 Resistencia al Desgaste

Todas las estructuras por su uso lógicamente tienden a desgastarse en el transcurso del tiempo.

Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia y la compresión del hormigón. Un hormigón de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un hormigón de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación agua-cemento baja, así también un curado adecuado, son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado, también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, con una superficie que ha sido tratada con liana de metal, es más resistente al desgaste que una que no lo ha sido. (Morales et al., 2012, Pág 24)

La norma (ASTM C 418) es el método de prueba para evaluar la resistencia a la abrasión de las superficies del hormigón, simulando la acción abrasiva del agua o de tráfico. Pretendiendo desgastar los componentes menor resistentes del hormigón.

2.2.4.3 Propiedades químicas del hormigón endurecido

2.2.4.3.1 Durabilidad

Esta propiedad del hormigón se refiere a la capacidad que tienen estos para resistir diversos agentes exteriores, como: la intemperie, la congelación y el deshielo, la acción continua o intermitente de las aguas dulces, de mar (sulfatadas) y otros agentes nocivos.

Un hormigón durable se considera aquel que conserva su forma, calidad y funcionalidad respecto de su exposición al ambiente.

2.3 Resistencia mecánica del hormigón

La resistencia que muestra el hormigón a esfuerzos de compresión es una propiedad importante, ya que estos resultados son utilizados para distintas obras de ingeniería civil como: edificaciones, puentes entre otras estructuras en donde el hormigón es uno de los principales participantes, además estos diseños se basan en la teoría que los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero mientras que el hormigón absorbe los esfuerzos de compresión.

La resistencia del hormigón sometido a esfuerzos de compresión se define como la capacidad máxima de la resistencia a carga axial en especímenes de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, sometidos a procesos de curación. La resistencia a la compresión se expresa en Newton/m² o Mega Pascal (Mpa). Esta resistencia se puede calcular a edades diferentes las más comunes son 7, 14, 21 y 28 días, pero es necesario recalcar que la resistencia a los 7 días se puede estimar como un 60% de la resistencia a los 28 días.

Para que un hormigón adquiera resistencia mecánica a la compresión influyen muchos factores entre ellos: la granulometría que al agregar de manera dosificada garantiza que el volumen de vacíos sea menor, las características de su superficie, la marca del cemento y la cantidad agregada, la proporción de agua. Los hormigones realizados con piedra triturada, resisten más a esfuerzos de compresión que aquellos que han sido realizados con grava; la superficie rugosa y angulosa de los agregados hace que tenga una excelente adherencia con el mortero de cemento.

2.4 Comportamiento elástico e inelástico del hormigón

La relación entre tensiones y deformaciones se establece a través del módulo de elasticidad. En materiales totalmente elásticos, el módulo de elasticidad es constante e independiente de

la tensión aplicada. En materiales nombrados inelásticos el módulo de elasticidad depende obligatoriamente de la tensión aplicada.

El hormigón es un material que presenta un comportamiento elástico e inelástico, esto dependiendo de la tensión aplicada; la curva esfuerzo deformación del hormigón se presenta regularmente en tres tramos. (Asmal et al., 2012, Pág 22)

1. **Zona Elástica:** regularmente abarca no más de un 20% del desarrollo total de la curva.
2. **Zona Plástica:** es una curva ascendente hasta el valor máximo (tensión-deformación)
3. **Rotura:** es un tramo curvo descendente que llega hasta que la rotura.

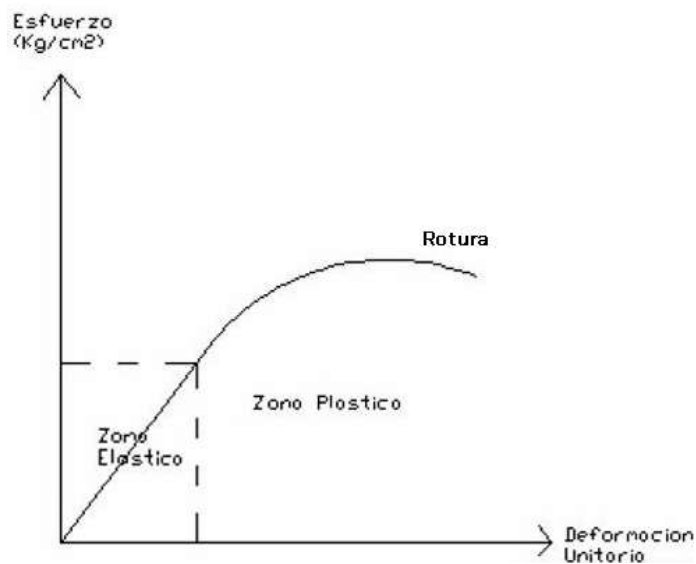


Figura 2.3 Curva Esfuerzo - Deformación del Hormigón

FUENTE: ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto? (Figura 1). (Osorio, 2011).

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>.

La relación lineal, entre esfuerzo unitario y la deformación específica, para un elemento sometido a tracción o compresión simple, puede expresarse mediante la ecuación

$$E = \frac{P \times L}{A \times \delta}$$
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E= Modulo de Elasticidad

σ = Esfuerzo

ε = Deformación

El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo – deformación en la región elástica y su valor es dependiente del material que se utilice. La ecuación mostrada se aplica para cálculo de elementos sometidos a tracción y compresión únicamente en el rango elástico. Las variables principales que arrojan la curva esfuerzo – deformación son: edad del hormigón, duración de la carga, forma y tipo de la sección, tipos de agregados, curado, etc. (Asmal et al., 2012, Pág 24)

2.5 Deformaciones

El hormigón como todo cuerpo sólido, se deforma al recibir peso en exceso y esta deformación depende de la magnitud de la carga y del tiempo que esta dure. Es importante conocer las deformaciones como los esfuerzos del hormigón para estimar la pérdida de pre esfuerzo en el acero y para tenerlo en cuenta para otros efectos del acortamiento elástico.

El valor de la deformación (unitaria) ε es el cociente del alargamiento (deformación total) y la longitud L, en la que se ha producido.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Las deformaciones pueden clasificarse en tres tipos:

2.5.1 Deformación elástica

El término deformación elástica es un poco ambiguo, puesto que la curva esfuerzo-deformación para el concreto no es una línea recta aun a niveles normales de esfuerzo, ni son enteramente recuperables las deformaciones. Entonces es posible obtener valores para el módulo de elasticidad del concreto. El módulo varía con diversos factores, notablemente con la resistencia del concreto, la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento, y la definición del módulo de elasticidad en sí, si es el módulo tangente, inicial o secante.

Aún más, el módulo puede variar con la velocidad de la aplicación de la carga y con el tipo de muestra o probeta, ya sea un cilindro o una viga. Por consiguiente, es casi imposible predecir con exactitud el valor del módulo para un concreto dado.(Forcada, 2016)

2.5.2 Deformación plástica

Este tipo de deformación es instantánea e irreversible que aumenta con la con la magnitud de la carga y el tiempo que esta dure.

Se ha encontrado que la deformación por flujo plástico en el concreto depende no solamente del tiempo, sino que también depende de las proporciones de la mezcla, de la humedad, de las condiciones del curado, y de la edad del hormigón a la cual es cargado. La deformación por flujo plástico es casi directamente proporcional a la intensidad del esfuerzo. Por lo tanto, es posible relacionar a la deformación por flujo plástico con la deformación elástica inicial.(Forcada, 2016)

2.5.3 Deformación por contracción

Las mezclas para concreto normal contienen mayor cantidad de agua que la que se requiere para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el tiempo, la velocidad y la terminación del secado dependen de la humedad, la temperatura ambiente, y del tamaño y forma del espécimen del concreto. El secado del concreto viene aparejado con una disminución en su volumen, ocurriendo este cambio con mayor velocidad al principio que al final.

De esta forma, la contracción del concreto debida al secado y a cambios químicos depende solamente del tiempo y de las condiciones de humedad, pero no de los esfuerzos.(Forcada, 2016)

CAPITULO III

3 ENSAYOS DE LOS MATERIALES

3.1 Materiales

3.1.1 Selección de los agregados procedentes de la mina Pintag



Figura 3.1 Vista Panorámica de la Mina Pintag - “REVTON S.A.”

La mina REVTON S. A esta ubicada en el derrame lávico del volcán Antisana, en la vía Pintag S/N, camino a Pinantura. La mina del Arq. Pedro Bonilla tiene una extensión de 3.5 Hectáreas; los materiales explotados son grava, piedra bola, arena, polvo de piedra, entre otros.

3.1.2 Muestreo

El muestreo se realizó teniendo en cuenta lo que dicta la norma (ASTM D 75, 2014), para obtener muestras seguras se tuvo las siguientes consideraciones:

- Las muestras a ser ensayadas para calidad serán obtenidas del producto terminado.

- Las muestras del producto terminado a ser ensayadas para pérdida por abrasión no estuvieron sujetas a trituración o reducción manual.
- El material fue inspeccionado por el encargado y operario de la mina.

El material fue transportado en saquillos, la cantidad de agregado grueso y fino fue de 900 kg los cual abastecerá para la realización de ensayos físicos y mecánicos.

3.1.3 Reducción de muestras de agregados a tamaño de prueba

La norma (ASTM C 702, 1993) describe tres métodos, para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para empleo de técnicas de prueba.

1. Método A Cuarteo Mecánico
2. Método B Cuarteo Manual
3. Método C Apilado en Miniatura

El método de cuarteo que se realizo fue el cuarteo mecánico ya que nuestro material se encontraba seco más allá de la condición saturado superficie seca (SSS), que a diferencia del método B o C que es usado cuando el material tiene humedad libre en su superficie.



Figura 3.2 Método de Cuarteo - Agregado Grueso



Figura 3.3 Método de Cuarteo – Agregado Fino

3.2 Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Los agregados fino y grueso, fueron sometidos a ensayos físicos y mecánicos rigiéndose a las siguientes normas preestablecidas.

Tabla 3.1 Normas de ensayos Físicos y Mecánicos de los materiales

Ensayo	Norma
Abrasión del agregado grueso	ASTM C-131 NTE INEN 0861:11
Contenido Orgánico del agregado fino	ASTM C-40 NTE INEN 0855:10 1R
Gravedad específica y Porcentaje de absorción	ASTM C-128 1R y C-127 1R NTE INEN 0856:10 y 0857:10
Contenido de humedad	ASTM C-566 NTE INEN 0862:11
Densidad aparente suelta y compactada	ASTM C-29 NTE INEN 0858:10
Granulometría	ASTM C-136 NTE INEN 0696:11
Material fino que pasa el tamiz N° 200	ASTM C-117 NTE INEN 0697:11
Gravedad específica del cemento	ASTM C-188 NTE INEN 0156:09 2R
Consistencia normal del cemento	ASTM C-187

FUENTE: Normas de los ensayos físicos y mecánicos de los agregados. (Guanopatin y Borja, 2022)

3.2.1 Ensayo de Abrasión del agregado grueso

El ensayo de abrasión permite determinar el porcentaje de desgaste que el agregado sufre al ser colocado en la máquina de los Ángeles con un número establecido de esferas y a un roce continuo. Nos permitirá conocer si el agregado será apto para ser utilizado en la elaboración de hormigones, su durabilidad y resistencia.

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 131, 2001) o (NTE INEN 0861:11).

Tabla 3.2 Granulometría de las muestras de ensayo

TAMAÑO DEL TAMIZ				MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g) GRADACIÓN			
PASA		RETIENE		A	B	C	D
1 ½	37.50	7	25.00	1250±25			
1	25.00	¾	19.00	1250±25			
¾	19.00	½	12.50	1250±10	2500±10		
½	12.50	3/8	9.50	1250±10	2500±10		
3/8	9.50	No. 3	6.30			2500±10	
No. 3	6.30	No. 4	4.75			2500±10	
No. 4	4.75	No. 8	2.36				5000±10
TOTAL				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

FUENTE: Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Ángeles. (Tabla 2. Pág. 3). (ASTM C 131, 2001). <https://pdfcoffee.com/astm-c-131-01doc-pdf-free.html>

Tabla 3.3 Carga dependiendo de la granulometría de la muestra de ensayo

GRADACIÓN	NUMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA g.
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

FUENTE: Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Ángeles. (Tabla 1. Pág. 2). (ASTM C 131, 2001). <https://pdfcoffee.com/astm-c-131-01doc-pdf-free.html>

Formulas Usadas

$$C = A - B \qquad (\%Desgaste) = \frac{C}{A}$$

Donde:

C= Perdida después de 100 revoluciones

A= Masa inicial

B= Retenido en el tamiz No 12 después de las 100 revoluciones



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

ASTM C131 (NTE INEN 0861:11)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 12/01/2022

Graduación B		
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz	Granulometría
3/4 “	1/2”	2500 ± 10
1/2”	3/8”	2500 ± 10
Total		5000 ± 10

Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso		
	V. Lab	Ud.
Masa inicial	5000	g
Peso de la bandeja	230	g
Retenido en el tamiz No 12 después de las 100 revoluciones	4835	g
Perdida después de 100 revoluciones	165	%
Perdida después de 100 revoluciones	3.3	%
Retenido en el tamiz No 12 después de las 500 revoluciones	3720	g
Perdida después de 500 revoluciones	1280	g
Perdida después de 500 revoluciones	25.6	%
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (%Desgaste)	0.13	%

3.2.2 Ensayo de Contenido Orgánico del agregado fino

El ensayo de contenido orgánico permite determinar visualmente la cantidad de impurezas y materia orgánica que contiene el agregado fino.

El agregado fino es mezclado con sosa caustica y dependiendo de su coloración, se conocerá si la arena es apta para uso en hormigones; mientras más transparente sea el color que muestra, menor cantidad de impurezas y materia orgánica tendrá la arena.

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 40, 1992) o (NTE INEN 0855:10 1R).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO DEL AGREGADO FINO

ASTM C40 (NTE INEN 0855:10 1R)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 12/01/2022

Colores de placa orgánica de GARDNER.		
Tipo	Color	Propiedades
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener Materia orgánica, limo o arcilla.
2	Amarillo pálido	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas, se considera de buena calidad.
3	Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4	Café	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5	Café chocolate	Arena de muy mala calidad. Existe demasiada materia orgánica, limos o arcilla. No se usa

Cuadro de Resultados		
Muestra	Color	Observación
	Blanco Claro a Transparente	No tiene impurezas y contenido orgánico.

Se concluye que la arena procedente de Pintag es apta para ser usada en fabricación de hormigones desde el punto de vista orgánico.

3.2.3 Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso y fino

3.2.3.1 Gravedad específica del agregado fino y grueso

Es la relación entre la masa y el volumen total de agregados saturados y libres de humedad superficial; este valor es el más importante para calcular la cantidad de agregado grueso que puede ser acomodado en una mezcla de hormigón. (Asmal et al., 2012)

Se debe tener en cuenta que un valor alto de densidad significa que el agregado es de alta resistencia, pero un valor alto no es una medida que indica la calidad del agregado.

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 128, 2001) o (NTE INEN 0856:10) y (ASTM C 127, 2001) o (NTE INEN 0857:10).

Formulas Usadas

Agregado Grueso

- *Gravedad Especifica Bulk*

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

- *Gravedad Especifica Saturada con Superficie Seca*

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

- *Gravedad Especifica Aparente*

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

Donde:

A= Masa de ripio seco

B= Masa del ripio en (sss)

C=Masa de ripio en agua

Agregado Fino

- *Gravedad Especifica Bulk*

$$GE = \frac{A}{B + S - C}$$

- *Gravedad Especifica Saturada con Superficie Seca*

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

- *Gravedad Especifica Aparente*

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

Donde:

A=Masa de la arena seca

B= Masa del picnómetro calibrado

C=Masa de picnómetro + arena (SSS) + agua

S= Masa de arena en (SSS)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

ASTM C-128 (NTE INEN 0856:10)

ASTM C-127 (NTE INEN 0857:10)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 12/01/2022

AGREGADO GRUESO

Gravedad Especifica del Agregado Grueso		
	V.Lab	Ud.
Masa del recipiente + ripio en (SSS)	3602.10	g
Masa del recipiente	296.20	g
Masa del ripio seco	3152.40	
Masa del ripio en (SSS)	3305.90	g
Masa de la canastilla sumergida en agua	695.00	g
Masa de la canastilla + ripio sumergido en agua	2673.90	g
Masa del ripio en agua	1978.90	g
Volumen desalojado	1327.00	cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AG GRUESO (GE)	2.38	g/cm³
GRAVEDAD ESPECIFICA AG GRUESO (SSS) (Ges)	2.49	g/cm³
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE AG GRUESO (Gea)	2.69	g/cm³

AGREGADO FINO

Gravedad Especifica del Agregado Fino		
	V.Lab	Ud.
Masa del picnómetro + arena en (SSS)	690.07	g
Masa del picnómetro	163.64	g
Masa de la arena seca	498.32	
Masa de arena en (SSS)	526.43	g
Masa del picnómetro calibrado (g)	660.22	g
Masa del picnómetro + arena en (SSS) + agua	983.55	g
Volumen desalojado	203.10	g
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AG FINO (GE)	2.45	g/cm³
GRAVEDAD ESPECIFICA AG FINO (SSS) (Ges)	2.59	g/cm³
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE AG FINO (Gea)	2.85	g/cm³

3.2.3.2 Porcentaje de absorción del agregado grueso y fino

Este ensayo permite conocer el incremento en la masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un período de tiempo prescrito, pero no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. (ASTM C 127, 2001)

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro con las partículas constituyentes, comparado con la condición seca, cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un periodo suficiente para poder satisfacer la absorción potencial. La norma para la determinación de la absorción en el laboratorio es obtenida después de sumergir el agregado seco por un período de tiempo prescrito. (ASTM C 127, 2001)

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 128, 2001) o (NTE INEN 0856:10) y (ASTM C 127, 2001) o (NTE INEN 0857:10).

Formulas Usadas

$$\%Ab = \frac{B - A}{A}$$

Donde:

%Ab= Porcentaje de Absorción

A= Masa de muestra seca

B= Masa de muestra en (SSS)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

ASTM C-128 (NTE INEN 0856:10)

ASTM C-127 (NTE INEN 0857:10)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 12/01/2022

AGREGADO GRUESO

Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso		
	V.Lab	Ud.
Masa del ripio en (SSS) + recipiente	3639.1	g
Masa del ripio seco + recipiente	3523.4	g
Masa del recipiente	296.2	g
Masa de agua	115.7	g
Masa de ripio seco	3227.2	g
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (Ab)	3.59	%

AGREGADO FINO

Capacidad de Absorción del Agregado Fino		
	V.Lab	Ud.
Masa de arena en (SSS) + recipiente	485.35	g
Masa de arena seca + recipiente	465.25	g
Masa del recipiente	118.5	g
Masa de agua	20.1	g
Masa de arena seca	346.75	g
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (Ab)	5.80	%

3.2.4 Contenido de humedad del agregado grueso y fino

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado.(ASTM C 566, 1997)

Este método de ensayo es suficientemente exacto para propósitos usuales, tales como ajuste en peso de las cantidades de materiales en una revoltura de concreto, por esta razón este ensayo se lo realiza un día antes de realizar las probetas de hormigón

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 566, 1997) o (NTE INEN 0862:11).

Formulas Usadas

$$W\% = \frac{M - A}{A} \times 100$$

Donde:

W% = Contenido de humedad

M= Masa de muestra húmeda

A= Masa de muestra seca



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM C-566 (NTE INEN 0862:11)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 12/01/2022

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad del Agregado Grueso		
	<i>V la.</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente +ripio húmedo	1776	g
Masa del recipiente+ripio seco	1750.2	g
Masa del recipiente	188.9	g
Masa del agua	25.8	g
Masa del ripio seco	1561.3	g
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (W%)</i>	1.65	%

Contenido de Humedad del Agregado Grueso		
	<i>V lab.</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente +ripio húmedo	2052.3	g
Masa del recipiente+ripio seco	2022.2	g
Masa del recipiente	188.8	g
Masa del agua	30.1	g
Masa del ripio seco	1833.4	g
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (W%)</i>	1.64	%

Promedio (W%AG) = 1.60%

Contenido de Humedad del Agregado Grueso		
	<i>V lab.</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente +ripio húmedo	2039.5	g
Masa del recipiente+ripio seco	2011.7	g
Masa del recipiente	180.8	g
Masa del agua	27.8	g
Masa del ripio seco	1830.9	g
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (W%)</i>	1.52	%



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM C-566 (NTE INEN 0862:11)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 12/01/2022

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad del Agregado Fino		
	<i>V</i>	<i>Ud.</i>
	<i>lab.</i>	
Masa del recipiente +arena húmeda	864.3	g
Masa del recipiente+arena seca	847.2	g
Masa del recipiente	140.3	g
Masa del agua	17.1	g
Masa de arena seca	706.9	g
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (W%)</i>	2.42	%

Contenido de Humedad del Agregado Fino		
	<i>V</i>	<i>Ud.</i>
	<i>lab.</i>	
Masa del recipiente +arena húmeda	887	g
Masa del recipiente+arena seca	864.2	g
Masa del recipiente	135	g
Masa del agua	22.8	g
Masa de arena seca	729.2	g
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (W%)</i>	3.13	%

Promedio ($W\%AF$) = 2.84%

Contenido de Humedad del Agregado Fino		
	<i>V</i>	<i>Ud.</i>
	<i>lab.</i>	
Masa del recipiente +arena húmeda	808.5	g
Masa del recipiente+arena seca	788.9	g
Masa del recipiente	126.9	g
Masa del agua	19.6	g
Masa de arena seca	662	g
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (W%)</i>	2.96	%

3.2.5 Granulometría del agregado grueso y fino

Este método de ensayo se utiliza para determinar la graduación de agregados. Los resultados se usan para determinar la conformidad de la distribución por tamaños de partículas con los requisitos aplicables de la especificación requerida y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y de mezclas que contengan agregados. Los datos también pueden ser útiles para desarrollar relaciones concernientes a la porosidad y al acomodo de partículas. (ASTM C 136, 2001)

El tamaño máximo nominal corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el retenido entre el 5% y 10% del material.

Formulas Usadas

Porcentaje Retenido Acumulado y Porcentaje Que Pasa

$$\%RetAcum = \frac{Masa\ Retenida\ Acumulada * 100}{Masa\ de\ la\ muestra} \quad \%Pasa = 100 - \%RetAcum$$

Módulo de Finura

Agregado Grueso

Es la suma de los porcentajes acumulados de las siguientes mallas estándar: 3'', 1^{1/2}'', 3/4'', 3/8'', N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.

$$MF = \frac{\Sigma \%RetAcum (3'', 1\frac{1}{2}'', \frac{3}{4}'', \frac{3}{8}'', N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Agregado Fino

Es la suma de los porcentajes acumulados de las siguientes mallas estándar: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.

$$MF = \frac{\Sigma \%RetAcum (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Tabla 3.4 Requerimientos de Tamizado en Agregados Gruesos

Número de tamaño	Tamaño Nominal (tamices con aberturas cuadradas)	Cantidades con una fineza mayor a la del tamiz de cada laboratorio (aberturas cuadradas), porcentajes en masa													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37.5 mm (1 1/2 pulg.)	25 mm (1 pulg.)	19 mm (3/4 pulg.)	12.5 mm (1/2 pulg.)	9.5 mm (3/8 pulg.)	4.75 mm (N.º 4)	2.36 mm (N.º 8)	1.18 mm (N.º 16)	300 µm (N.º 50)
1	de 90 a 37.5 mm (de 3 1/2 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	de 63 a 37.5 mm (de 2 1/2 a 1 1/2 pulg.)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	de 50 a 25.0 mm (de 2 a 1 pulg.)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	de 50 a 4.75 mm (de 2 pulg. a N.º 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	de 37.5 a 19.0 mm (de 1 1/2 a 3/4 pulg.)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	de 37.5 a 4.75 mm (de 1 1/2 pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	de 25.0 a 12.5 mm (de 1 a 1/2 pulg.)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	de 25.0 a 9.5 mm (de 1 a 3/8 pulg.)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	de 25.0 a 4.75 mm (de 1 pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	de 19.0 a 9.5 mm (de 3/4 a 3/8 pulg.)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	de 19.0 a 4.75 mm (de 3/4 pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	de 12.5 a 4.75 mm (de 1/2 pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	de 9.5 a 2.36 mm (de 3/8 pulg. a N.º 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	de 9.5 a 1.18 mm (de 3/8 pulg. a N.º 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9	de 4.75 a 1.18 mm (de N.º 4 a N.º 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

FUENTE: Especificación Estándar para agregados para hormigón. (Tabla 3. Pag.5-6). (ASTM C 33, 2018).

Tabla 3.5 Límites de Graduación del Agregado Fino

Tamiz (Especificación E11)	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg.)	100
4.75 mm (N.º4)	95 a 100
2.36 mm (N.º8)	80 a 100
1.18 mm (N.º16)	50 a 85
600 µm (N.º30)	25 a 60
300 µm (N.º50)	5 a 30
150 µm (N.º100)	0 a 10
75 µm (N.º200)	0 a 3.0

FUENTE Especificación Estándar para agregados para hormigón. (Tabla 1. Pag.3). (ASTM C 33, 2018).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO

ASTM C-136 (NTE INEN 0696:11)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 14/01/2022

Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso							
Tamiz		Retenido		% Retenido Acumulado	% Pasa	% Pasando	
mm		Parcial (g)	Acumulado (g)			Min	Max
25	1'	0	0	0.00	100.00	100	
19	¾"	400	400	5.13	94.87	90	100
12.5	½"	2400	2800	35.90	64.10		
9.5	3/8"	1305	4105	52.63	47.37	20	55
4.75	N° 4	3075	7180	92.05	7.95	0	10
2.36	N° 8	470	7650	98.08	1.92	0	5
1.18	N° 16	40	7690	98.59	1.41		
Bandeja		110	7800	100.00	0.00		

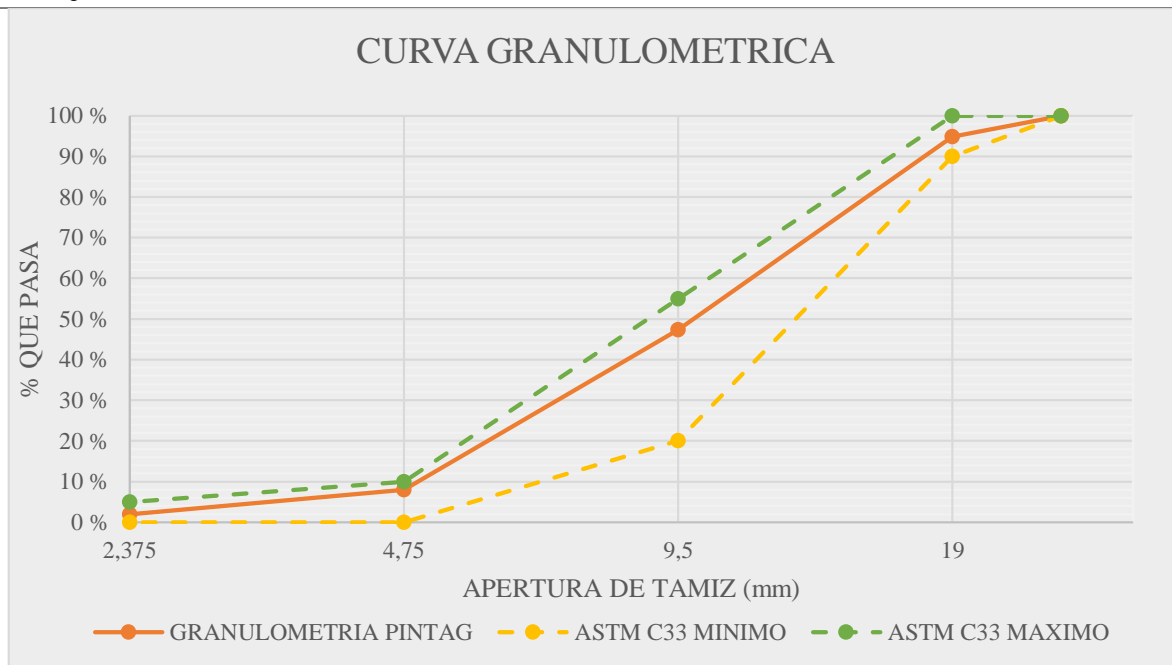


Figura 3.4 Curva Granulométrica del Agregado Grueso

MF=	6.46
TMN=	¾"



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

ASTM C-136 (NTE INEN 0696:11)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 14/01/2022

Ensayo de Granulometría del Agregado Fino							
Tamiz		Retenido		% Retenido Acumulado	% Pasa	%Pasando	
mm		Parcial (g)	Acumulado (g)			Min	Max
9.5	3/8"	0	0	0.00	100.00	100	100
4.75	N° 4	35	35	3.84	96.16	95	100
2.36	N° 8	135.55	170.55	18.72	81.28	80	100
1.18	N° 16	209.66	380.21	41.73	58.27	50	85
0.6	N° 30	198.9	579.11	63.57	36.43	25	60
0.3	N° 50	160.01	739.12	81.13	18.87	5	30
0.15	N° 100	92.45	831.57	91.28	8.72	0	10
0.075	N° 200	43.32	874.89	96.04	3.96	0	3
Bandeja		36.12	911.01	100.00	0.00		

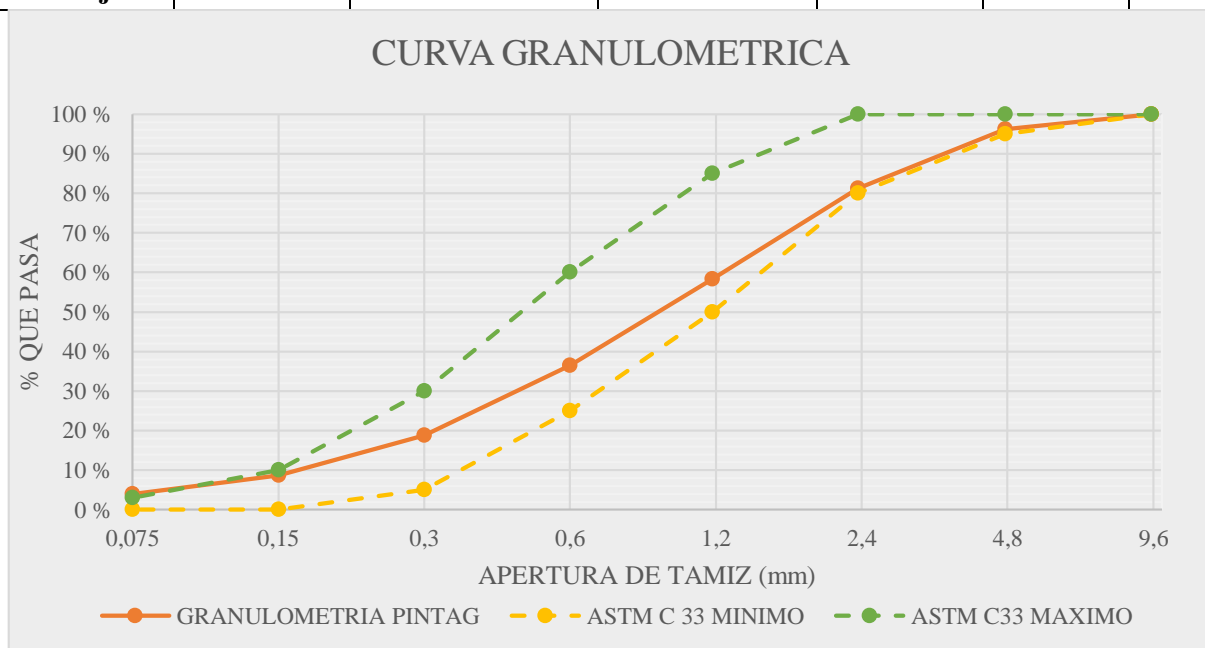


Figura 3.5 Curva Granulométrica del Agregado Fino

MF=	3.00
------------	-------------

3.2.5.1 Material Fino que pasa el Tamiz N° 200 del agregado fino

Es un método de ensayo que permite determinar mediante lavado del árido, la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200.

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM D 1140, 2000) o (NTE INEN 0697:11).

Formulas Usadas

$$P\% = \frac{W - R}{W} \times 100$$

Donde:

P% = Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200

W= Masa de muestra

R= Masa de material retenida en el tamiz N°200 después del ensayo



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200

ASTM D-1140 (NTE INEN 0697:11)

Agregado Fino

Ensayo de material que pasa el tamiz N° 200 del Agregado Fino		
	<i>V.lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa de muestra	1103.6	g
Masa de material retenida en el tamiz N°200 después del ensayo	977.0	g
PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 (P%)	11.47	%

3.3 Propiedades físicas y mecánicas del cemento

Se conoce que el cemento es un compuesto más del hormigón así tenemos el cemento Portland que es un polvo finamente molido, mayoritariamente por silicatos de calcio y, con menor proporción, por aluminatos de calcio.

Al reaccionar con agua, forma una pasta que fragua y endurece a temperatura ambiente.

Se le conoce también como “cemento hidráulico”, porque tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, porque reacciona químicamente con ella y forma un material de excelentes propiedades aglutinantes.(UMACON, 2021)

El cemento a usarse en esta investigación es SELVALEGRE; es un cemento TIPO IP, diseñado para construcciones de hormigón en general; el mismo que cumple con los requerimientos NTE INEN 490 y ASTM C 595.(UNACEM, 2016)

Los ensayos a realizarse son Gravedad específica y Consistencia Normal.

3.3.1 Gravedad específica del cemento

La importancia de conocer el peso específico del cemento es que está relacionado con el diseño y control de mezclas de concreto.

El peso específico relativo es la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, al peso de un volumen igual de agua a esa misma temperatura.

El peso específico relativo del cemento Portland tipo I, oscila entre 3.1 y 3.2. Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15. (Cañas, 2009)

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 188, 1995) ó (NTE INEN 0156:09 2R)

Formulas Usadas

$$Gec = \frac{A - B}{V1 - V2}$$

Donde:

Gec= Gravedad especifica del cemento

A= Masa de Frasco de Le Chatelier + Gasolina

B= Masa de Frasco de Le Chatelier + Gasolina + Cemento

V1= Lectura inicial de Le Chatelier + Gasolina

V2=Frasco de Le Chatelier + Gasolina + Cemento



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO

ASTM C-188 (NTE INEN 0156:09 2R)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 18/01/2022

Gravedad Especifica del Cemento		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del cemento	64	g
Frasco de Le Chatelier	139.12	g
Lectura inicial de Le Chatelier + Gasolina	0.6	ml
Frasco de Le Chatelier + Gasolina	322.3	g
Lectura inicial de Le Chatelier + Gasolina + Cemento	22.3	ml
Frasco de Le Chatelier + Gasolina + Cemento	386.24	g
<i>GRAVEDAD ESPECIFICA DEL CEMENTO (Gec)</i>	2.95	g/cm ³

3.3.2 Consistencia Normal del cemento

La prueba de consistencia normal permite conocer la cantidad de agua que es necesaria agregar a un peso de cemento (650 g), para obtener una consistencia normal. La determinación de esta consistencia sirve como referencia para la realización de otras pruebas como: determinación de la resistencia a la tensión, tiempos de fraguado, sanidad del cemento, expansión en autoclave, y otras.

El agua de consistencia normal puede definirse como el agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato Vicat penetre $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ durante 30 segundos en la pasta de cemento, después de haberse iniciado la prueba.

Los valores típicos de la consistencia normal están entre 23% y 33%.

La norma que permitió realizar este ensayo es (ASTM C 187, 1998).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

ASTM C-187

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 18/01/2022

Consistencia Normal del Cemento		
Prueba N°1		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del cemento	650	g
Consistencia Normal del Cemento	27	%
Peso agua	175.5	g
Penetración de la aguja Vicat (30 s)	19	mm

Consistencia Normal del Cemento		
Prueba N°2		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del cemento	650	g
Consistencia Normal del Cemento	26	%
Peso agua	169	g
Penetración de la aguja Vicat (30 s)	10	mm
Tiempo Inicial	2.56	h
Tiempo Final	5.10	h

3.1 Resumen de propiedades de los agregados y del cemento

ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Perdida después de 500 revoluciones	25.6 %
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (%Desgaste)	0.13 %

CONTENIDO ORGÁNICO DEL AGREGADO FINO

Se concluye que la arena procedente de Pintag es apta para ser usada en fabricación de hormigones desde el punto de vista orgánico.

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AG GRUESO	(GE)	2.38 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA AG GRUESO (SSS)	(Ges)	2.49 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE AG GRUESO	(Gea)	2.69 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK AG FINO	(GE)	2.45 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA AG FINO (SSS)	(Ges)	2.59 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE AG FINO	(Gea)	2.85 g/cm ³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	(Ab)	3.59 %
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	(Ab)	5.80 %

GRANULOMETRÍA

AGREGADO GRUESO

MF=	6.46
TMN	3/4"

AGREGADO FINO

MF=	3.00
-----	------

MATERIAL QUE PASA TAMIZ N°200

AGREGADO GRUESO	8.55 %
AGREGADO FINO	11.47 %

ENSAYOS DEL CEMENTO

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL CEMENTO	(Gec)	2.95 g/cm ³
Consistencia Normal del Cemento		26 %
Penetración de la aguja Vicat		10 mm

CAPITULO IV

4 DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Para obtener un hormigón con una buena trabajabilidad, resistente a la compresión y con durabilidad apropiada es necesario seleccionar los materiales convenientes como cemento, agregados y de ser necesario aditivos.

La dosificación del hormigón tiene por finalidad encontrar las proporciones adecuadas de cada ingrediente y consiguiente dependerá la aplicabilidad del hormigón.

La dosificación que se realiza mediante cálculo teórico permite encontrar las proporciones de mezclado de los componentes, pero esto no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

Se sabe que no existe un método único de dosificación y el adecuado dependerá de las condiciones que el hormigón deba reunir, el ingeniero podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se obtengan serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba.

El método de dosificación escogido para este trabajo de disertación es el Método ACI 211.1 (Modificado) y recomendado por el ingeniero Lauro Lara Carrera docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

4.1 Métodos de Diseño

Hoy en día existen numerosos métodos de diseño para dosificar hormigones mismos que se basan en distintos criterios. La dosificación de hormigones se puede definir como un cálculo matemático, pero esto no es suficiente sin la adquisición de experiencia y criterio del diseñador al momento de proporcionar adecuadamente los materiales.

Para nuestra investigación nos enfocamos en el método ACI 211.1 (Modificado).

4.2 Método ACI 211.1 (Modificado)

El método ACI 211.1 (modificado), es un método que se ha ido perfeccionando acorde a experimentos realizados en nuestro país en base a experiencias se ha tomado valores de tablas realizadas por el ingeniero Lauro Lara y del ACI 211.1, a continuación, explicaremos los pasos a seguir para la dosificación de mezclas de hormigón por este método.

4.2.1 Resistencia a la compresión requerida del hormigón ($f'c$)

Es el valor impuesto por el ingeniero, proyectista o calculista, en este caso nuestro grupo de trabajo se impuso tres resistencias a la compresión:

- $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

4.2.2 Resistencia a la compresión de diseño del hormigón ($f'c$ diseño)

Debido a las variaciones en los materiales, operaciones y ensayos, la resistencia de diseño en laboratorio es substancialmente mayor que la resistencia requerida que se determina en obra. Para las resistencias propuestas se aplicó un factor de seguridad del 5% obteniendo una resistencia a la compresión de diseño mayor.

$$f'c \text{ diseño} = f'c \text{ requerida} \times \left(1 + \% \frac{\text{seguridad}}{100}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

$f'c$ diseño = Resistencia a la compresión de diseño del hormigón

$f'c$ requerida = Resistencia a la compresión requerida del hormigón

% seguridad = 5%

4.2.3 Selección del Asentamiento

El ensayo de asentamiento permitirá determinar las propiedades del hormigón en estado fresco en términos de consistencia, fluidez, cohesión y grado de compactación.

Los factores influyentes en el asentamiento son: tamaño máximo del agregado grueso, forma de las partículas, proporciones de los componentes y cantidad de agua y cemento.

El asentamiento con el que se trabajó en nuestra dosificación es la recomendada por la tabla del ACI 211.1 (tabla 4.1).

Tabla 4.1 Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción

Tipo de Construcción	Asentamiento	
	Máximo (cm)	Mínimo (cm)
Muros y zapatas de cimentación de hormigón reforzado	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la sub - estructura	8	2
Vigas y muros de hormigón reforzado	10	2
Columnas de edificios	10	2
Losas y Pavimentos	8	2
Hormigón masivo	5	2

FUENTE: Práctica estándar para la selección de proporciones para concreto pesado y masivo normal. (Tabla 6.3.1 Pág. 12). (ACI 211, 1997)

El asentamiento escogido para nuestra investigación es de **8 ± 2 cm o 80 mm**, ya que es un asentamiento muy común cuando se trata de construcción de vigas, losas, zapatas y muros.

4.2.4 Selección del tamaño máximo nominal del agregado

El tamaño máximo nominal de nuestro material es de $\frac{3}{4}$ de pulgada o 19 mm, y fue escogido debido a que fue el menor tamiz por donde la mayor parte de nuestra muestra de agregado grueso pasó, reteniendo un 5.13% mismo que se encuentra entre el 5% y 15% que la norma específica para considerar un tamaño máximo nominal.

4.2.5 Estimación de la cantidad de agua de mezcla y contenido de aire

El valor del agua neta se escoge mediante la tabla propuesta por el ACI 211.1 (tabla 4.2), para tomar un valor se debe tener en cuenta el asentamiento y el tamaño máximo nominal.

Tabla 4.2 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales de agregados.

Agua en lt/m³ de concreto para los tamaños nominales de agregados gruesos y consistencias indicados								
	3/8 “	1/2”	3/4”	1”	1 1/2”	2”	3”	6”
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Revenimiento mm	Hormigón sin aire incorporado							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100 mm	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175 mm	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire, en hormigón sin aire incluido (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incorporado								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	22	107
75 a 100 mm	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175 mm	216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio de aire en porcentaje según el nivel de exposición								
Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

FUENTE: Práctica estándar para la selección de proporciones para concreto pesado y masivo normal. (Tabla 6.3.3 Pág. 12). (ACI 211, 1997)

4.2.6 Relación agua cemento (a/c)

La relación agua / cemento es el principal parámetro para determinar la resistencia final del hormigón; esta relación expresa una íntima relación entre el peso del agua y el peso del cemento a utilizarse.

Una relación agua/cemento baja produce un hormigón de mayor resistencia a comparación de uno con una relación agua/cemento alto. Pero se puede mencionar que en cuanto más alta sea esta relación el hormigón será más trabajable.

La relación agua – cemento fue tomada de la tabla 4.3 realizada en base a experimentos del Ingeniero Lauro Lara docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Tabla 4.3 Relación Agua-Material Cementante y Resistencia a Compresión del Concreto.
Adaptada del ACI 211.1, ACI 211.3 e Ingeniero Lauro Lara

Resistencia a la compresión 28 días (kg/cm ²)	Relación agua - material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P, (Ing. Lauro Lara)
400	0.42	0.33
350	0.47	0.38
300	0.54	0.43
250	0.61	0.50
200	0.69	0.58
150	0.79	0.67

FUENTE: (Lara Lauro, 2022)

4.2.7 Cantidad de cemento

Para obtener la cantidad de cemento necesario para un metro cubico de hormigón es necesario hacer el respectivo despeje de la relación agua cemento (a/c), escogida del punto anterior.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Agua neta} \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{a/c}$$

4.2.8 Cantidad de agregado grueso y fino

4.2.8.1 Peso unitario del hormigón (UM)

$$Um = 10 Ga(100 - A) + Cm \left(1 - \frac{Ga}{Gc} \right) - Wm (Ga - 1) \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Ga = \frac{G_{sss} \text{ fino} + G_{sss} \text{ grueso}}{2}$$

Donde:

Um= Peso unitario del hormigón

Ga= Gravedad específica saturada con superficie seca promedio del agregado fino y grueso

A= Porcentaje de aire contenido

Cm= Cantidad de cemento

Wm= Agua neta

Gc= Gravedad específica del cemento.

4.2.8.2 Cantidad de agregados en estado saturado con superficie seca (SSS).

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = Um - Wm - Cm$$

Donde:

Um= Peso unitario del hormigón

Wm= Agua neta

Cm= Cantidad de cemento

Se establece una proporción adecuada de agregado grueso y del agregado fino en relación a la cantidad de agregados en estado (SSS) siendo su suma el 100%.

En nuestro caso y en base a la experiencia del ingeniero Lauro Lara su recomendación fue de tomar las siguientes proporciones.

- Agregado fino: 46%
- Agregado grueso: 54 %

$$\text{Agregado en (SSS)} = \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregados}}{100}$$

4.2.8.3 Agregados en estado natural.

Para una correcta dosificación los agregados deben estar en estado natural muchas veces a esto se le denomina como corrección por humedad, los factores que intervienen en esta corrección son la capacidad de absorción y el contenido de humedad tanto del agregado grueso como del agregado fino.

$$\text{Agregados (seco)} = \frac{\text{Agregados (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Abs}}{100}}$$

$$\text{Agregados (natural)} = \text{Agregados (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W}{100}\right)$$

4.2.8.4 Cantidad de agua de mezcla.

Al estar en estado natural los agregados, la cantidad de agua de mezcla inicial no será la misma, así como se quitó el agua de los agregados se deberá restar o aumentar según el resultado que arroje la resta entre la capacidad de absorción y el contenido de humedad.

$$\text{Agua de mezcla} = \text{Agua neta} + \text{Arena (seca)} \times \frac{\%Abs - \%W}{100} + \text{Ripio (seco)} \times \frac{\%Abs - \%W}{100}$$

4.3 Diseño de mezclas para 210, 280 y 350 (kg/cm²)

Las mezclas de prueba se realizaron con el agregado procedente de Pintag y cemento Selvalegre, con las especificaciones mencionadas en el ítem 4.2, a continuación, se presenta los resultados que se obtuvieron en las dosificaciones de prueba, para las resistencias y métodos de diseño expuesto en el encabezado de la hoja de cálculo.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

DISEÑO DE PRUEBAS DE HORMIGÓN

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: 210 (kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 01/02/2022

MÉTODO: ACI 211.1 (MODIFICADO)

❖ **PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

Material	Cap. de Absorción	Cont. De Humedad	Promedio de Ges (SSS)	Grav. Esp. Cemento	Tam. Max. Nominal
	% Abs	%W	Ga (g/cm ³)	Gc (g/cm ³)	TMN (mm)
Ripio	3.59	1.60	2.54	2.95	19
Arena	5.80	2.84			

❖ **PROCEDIMIENTO**

✚ **Requerimientos**

- ✓ $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- ✓ **Asentamiento** = 8 cm

El asentamiento escogido para nuestra investigación es de 8 ± 2 cm o 80 mm, ya que es un asentamiento muy común cuando se trata de construcción de vigas, losas, zapatas y muros.

✚ **Resistencia a la compresión de diseño del hormigón ($f'c$ diseño)**

$$f'c \text{ diseño} = f'c \text{ requerida} \times \left(1 + \% \frac{\text{seguridad}}{100}\right) \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c \text{ diseño} = 210 * \left(1 + \% \frac{5}{100}\right) \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c \text{ diseño} = 220.5 \frac{kg}{cm^2}$$

✚ Estimación de la cantidad de agua de mezcla y contenido de aire

Este valor es escogido de la tabla 4.2 para un asentamiento de 8 cm y un TMN de 19 mm o ¾ de pulg. sin inclusión de aire; en nuestro caso se tomó en cuenta los valores de 1”, el agua neta de 193 lt/m³, por seguridad añadió 12lt/m³ más ya que se recomienda de entre (10 – 20) lt/m³, teniendo como agua neta 205 lt/m³ y 1.5% de aire atrapado.

- ✓ Agua neta= 205 lt/m³ de Hormigón.
- ✓ Aire incluido= 1.5 %/m³ de Hormigón.

✚ Relación agua cemento (a/c)

La relación agua – cemento fue tomada de la tabla 4.3 realizada en base a experimentos del Ingeniero Lauro Lara docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Para una resistencia a la compresión de diseño del hormigón de 220.5 kg/cm² el valor interpolado es de **0.547 a/c**.

✚ Cantidad de cemento

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua neta} \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{a/c}$$

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{205}{0.547} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 375 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

✚ Cantidad de agregado grueso y fino

- **Peso unitario del hormigón (UM)**

$$Um = 10 Ga(100 - A) + Cm \left(1 - \frac{Ga}{Gc}\right) - Wm (Ga - 1) \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Um = 10 (2.54)(100 - 1.5) + (375) \left(1 - \frac{2.54}{2.95}\right) - (205) (2.54 - 1) \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Um = 2239 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

- **Cantidad de agregados en estado saturado con superficie seca (SSS).**

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = Um - Wm - Cm$$

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = 2239 - 205 - 375$$

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = 1659 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Se establece una proporción adecuada de agregado grueso y del agregado fino en relación a la cantidad de agregados en estado (SSS) siendo su suma el 100%.

En nuestro caso y en base a la experiencia del ingeniero Lauro Lara su recomendación fue de tomar las siguientes proporciones.

Agregado fino: 46%

Agregado grueso: 54 %

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregado fino}}{100}$$

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = 1659 \times \frac{46\%}{100}$$

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = 763 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Agregado grueso en (SSS)

$$= \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregado grueso}}{100}$$

$$\text{Agregado grueso en (SSS)} = 1659 \times \frac{54\%}{100}$$

$$\text{Agregado grueso en (SSS)} = 896 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- **Agregados en estado natural.**

$$\text{Agregado fino (seco)} = \frac{\text{Agregado fino (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Abs fino}}{100}}$$

$$\text{Agregado fino (seco)} = \frac{763}{1 + \frac{5.8\%}{100}}$$

$$\text{Agregado fino (seco)} = 721 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = \frac{\text{Agregado grueso (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absgrueso}}{100}}$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = \frac{896}{1 + \frac{3.59\%}{100}}$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = 865 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = \text{Agregado fino (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W_{\text{fino}}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = 721 \times \left(1 + \frac{2.84\%}{100} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = 742 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = \text{Agregado grueso (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W_{\text{grueso}}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = 865 \times \left(1 + \frac{1.60\%}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = 879 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- **Cantidad de agua de mezcla.**

Agua de mezcla

$$= \text{Agua neta} + \text{Arena (seca)} \times \frac{\% \text{ Abs} - \% W}{100}$$

$$+ \text{Ripio (seco)} \times \frac{\% \text{ Abs} - \% W}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 205 + 721 \times \frac{5.80\% - 2.84\%}{100} + 865 \times \frac{3.59\% - 1.60\%}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 243 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

DISEÑO DE PRUEBAS DE HORMIGÓN

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: 280 (kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 02/02/2022

MÉTODO: ACI 211.1 (MODIFICADO)

❖ PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Material	Cap. de Absorción	Cont. De Humedad	Promedio de Ges (SSS)	Grav. Esp. Cemento	Tam. Max. Nominal
	% Abs	%W	Ga (g/cm ³)	Gc (g/cm ³)	TMN (mm)
<i>Ripio</i>	3.59	1.65	2.43	2.95	19
<i>Arena</i>	5.80	1.78			

❖ PROCEDIMIENTO

✚ Requerimientos

- ✓ $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- ✓ **Asentamiento** = 8 cm

El asentamiento escogido para nuestra investigación es de $8 \pm 2 \text{ cm}$ o 80 mm, ya que es un asentamiento muy común cuando se trata de construcción de vigas, losas, zapatas y muros.

✚ Resistencia a la compresión de diseño del hormigón ($f'c$ diseño)

$$f'c \text{ diseño} = f'c \text{ requerida} \times \left(1 + \% \frac{\text{seguridad}}{100}\right) \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c \text{ diseño} = 280 * \left(1 + \% \frac{5}{100}\right) \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c \text{ diseño} = 294 \frac{kg}{cm^2}$$

✚ Estimación de la cantidad de agua de mezcla y contenido de aire

- ✓ Agua neta= 185 lt/m³ de Hormigón.
- ✓ Aire incluido= 1.5 %/m³ de Hormigón.

✚ Relación agua cemento (a/c)

La relación agua – cemento fue tomada de la tabla 4.3 realizada en base a experimentos del Ingeniero Lauro Lara docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Para una resistencia a la compresión de diseño del hormigón de 294 kg/cm² el valor interpolado es de **0.438 a/c**.

✚ Cantidad de cemento

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua neta} \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{a/c}$$

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{185}{0.438} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 422 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

✚ Cantidad de agregado grueso y fino

- **Peso unitario del hormigón (UM)**

$$Um = 10 Ga(100 - A) + Cm \left(1 - \frac{Ga}{Gc}\right) - Wm (Ga - 1) \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Um = 10 (2.43)(100 - 1.5) + (422) \left(1 - \frac{2.43}{2.95}\right) - (185) (2.95 - 1) \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Um = 2203 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

- **Cantidad de agregados en estado saturado con superficie seca (SSS).**

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = Um - Wm - Cm$$

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = 2203 - 185 - 422$$

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = 1596 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Se establece una proporción adecuada de agregado grueso y del agregado fino en relación a la cantidad de agregados en estado (SSS) siendo su suma el 100%.

En nuestro caso y en base a la experiencia del ingeniero Lauro Lara su recomendación fue de tomar las siguientes proporciones.

Agregado fino: 46%

Agregado grueso: 54 %

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregado fino}}{100}$$

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = 1596 \times \frac{46\%}{100}$$

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = 734 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Agregado grueso en (SSS)

$$= \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregado grueso}}{100}$$

$$\text{Agregado grueso en (SSS)} = 1596 \times \frac{54\%}{100}$$

$$\text{Agregado grueso en (SSS)} = 862 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- **Agregados en estado natural.**

$$\text{Agregado fino (seco)} = \frac{\text{Agregado fino (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absfino}}{100}}$$

$$\text{Agregado fino (seco)} = \frac{734}{1 + \frac{5.8\%}{100}}$$

$$\text{Agregado fino (seco)} = 694 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = \frac{\text{Agregado grueso (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absgrueso}}{100}}$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = \frac{862}{1 + \frac{3.59\%}{100}}$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = 832 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = \text{Agregado fino (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W_{\text{fino}}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = 721 \times \left(1 + \frac{1.78\%}{100} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = 706 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = \text{Agregado grueso (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W_{\text{grueso}}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = 865 \times \left(1 + \frac{1.65\%}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = 846 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- **Cantidad de agua de mezcla.**

Agua de mezcla

$$= \text{Agua neta} + \text{Arena (seca)} \times \frac{\%Abs - \%W}{100}$$

$$+ \text{Ripio (seco)} \times \frac{\%Abs - \%W}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 205 + 694 \times \frac{5.80\% - 1.78\%}{100} + 846 \times \frac{3.59\% - 1.65\%}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 229 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

DISEÑO DE PRUEBAS DE HORMIGÓN

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: 350 (kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 02/02/2022

MÉTODO: ACI 211.1 (MODIFICADO)

❖ **PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

Material	Cap. de Absorción	Cont. De Humedad	Promedio de Ges (SSS)	Grav. Esp. Cemento	Tam. Max. Nominal
	% Abs	%W	Ga (g/cm ³)	Gc (g/cm ³)	TMN (mm)
<i>Ripio</i>	3.59	2.73	2.43	2.95	19
<i>Arena</i>	5.80	2.09			

❖ **PROCEDIMIENTO**

✚ **Requerimientos**

- ✓ $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$
- ✓ **Asentamiento** = 8 cm

El asentamiento escogido para nuestra investigación es de 8 ± 2 cm o 80 mm, ya que es un asentamiento muy común cuando se trata de construcción de vigas, losas, zapatas y muros.

✚ **Resistencia a la compresión de diseño del hormigón ($f'c$ diseño)**

$$f'c \text{ diseño} = f'c \text{ requerida} \times \left(1 + \% \frac{\text{seguridad}}{100}\right) \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c \text{ diseño} = 350 * \left(1 + \% \frac{5}{100}\right) \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c \text{ diseño} = 367.5 \frac{kg}{cm^2}$$

✚ **Estimación de la cantidad de agua de mezcla y contenido de aire**

- ✓ **Agua neta**= 189 lt/m³ de Hormigón.
- ✓ **Aire incluido**= 1.5 %/m³ de Hormigón.

✚ **Relación agua cemento (a/c)**

La relación agua – cemento fue tomada de la tabla 4.3 realizada en base a experimentos del Ingeniero Lauro Lara docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Para una resistencia a la compresión de diseño del hormigón de 367.5 kg/cm² el valor interpolado es de **0.363 a/c**.

✚ **Cantidad de cemento**

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua neta} \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{a/c}$$

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{189}{0.363} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 521 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

✚ **Cantidad de agregado grueso y fino**

- **Peso unitario del hormigón (UM)**

$$Um = 10 Ga(100 - A) + Cm \left(1 - \frac{Ga}{Gc}\right) - Wm (Ga - 1) \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Um = 10 (2.43)(100 - 1.5) + (521) \left(1 - \frac{2.43}{2.95}\right) - (189) (2.95 - 1) \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Um = 2215 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

- **Cantidad de agregados en estado saturado con superficie seca (SSS).**

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = Um - Wm - Cm$$

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = 2215 - 189 - 521$$

$$\text{Cantidad de Agregados en (SSS)} = 1504 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Se establece una proporción adecuada de agregado grueso y del agregado fino en relación a la cantidad de agregados en estado (SSS) siendo su suma el 100%.

En nuestro caso y en base a la experiencia del ingeniero Lauro Lara su recomendación fue de tomar las siguientes proporciones.

Agregado fino: 47%

Agregado grueso: 53 %

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregado fino}}{100}$$

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = 1504 \times \frac{47\%}{100}$$

$$\text{Agregado fino en (SSS)} = 707 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Agregado grueso en (SSS)

$$= \text{Cantidad de Agregados en (SSS)} \times \frac{\% \text{ Agregado grueso}}{100}$$

$$\text{Agregado grueso en (SSS)} = 1504 \times \frac{53\%}{100}$$

$$\text{Agregado grueso en (SSS)} = 797 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- **Agregados en estado natural.**

$$\text{Agregado fino (seco)} = \frac{\text{Agregado fino (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Abs fino}}{100}}$$

$$\text{Agregado fino (seco)} = \frac{707}{1 + \frac{5.8\%}{100}}$$

$$\text{Agregado fino (seco)} = 668 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = \frac{\text{Agregado grueso (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absgrueso}}{100}}$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = \frac{797}{1 + \frac{3.59\%}{100}}$$

$$\text{Agregado grueso (seco)} = 770 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = \text{Agregado fino (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W_{\text{fino}}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = 668 \times \left(1 + \frac{2.09\%}{100} \right)$$

$$\text{Agregado fino (natural)} = 682 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = \text{Agregado grueso (seco)} \times \left(1 + \frac{\% W_{\text{grueso}}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = 770 \times \left(1 + \frac{2.73\%}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso (natural)} = 791 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- Cantidad de agua de mezcla.

Agua de mezcla

$$= \text{Agua neta} + \text{Arena (seca)} \times \frac{\% \text{ Abs} - \% W}{100} \\ + \text{Ripio (seco)} \times \frac{\% \text{ Abs} - \% W}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 205 + 668 \times \frac{5.80\% - 2.09\%}{100} + 770 \times \frac{3.59\% - 2.73\%}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 220 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

4.4 Resumen de diseño de mezclas de 210, 280, 350 (kg/cm²)

4.4.1 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm²)

El resumen para el prediseño de mezclas para resistencia de 210 kg/cm² con una relación a/c de 0.547 se muestra a continuación en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm²)

Resumen de material para resistencia de 210 (kg/cm²)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
Agua de Mezcla	243	4870
Cemento	375	7493
Arena natural	742	14838
Ripio natural	879	17578
P_{uh} (calculado)	2239 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

4.4.2 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm²)

El resumen para el prediseño de mezclas para resistencia de 280 kg/cm² con una relación a/c de 0.438 se muestra a continuación en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm²)

Resumen de material para resistencia de 280 (kg/cm²)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
Agua de Mezcla	229	4580
Cemento	422	8440
Arena natural	706	14126
Ripio natural	846	16914
Puh (calculado)	2203 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

4.4.3 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm²)

El resumen para el prediseño de mezclas para resistencia de 350 kg/cm² con una relación a/c de 0.363 y con una cantidad de agregado fino y grueso de 47% y 53% respectivamente se muestra a continuación en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm²)

Resumen de material para resistencia de 350 (kg/cm²)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
Agua de Mezcla	220	4406
Cemento	521	10428
Arena natural	682	13645
Ripio natural	791	15815
Puh (calculado)	2215 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

4.5 Determinación de las propiedades del hormigón fresco: Correcciones

4.5.1 Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba

En nuestra investigación se hizo la corrección por asentamiento y peso unitario del hormigón en estado fresco, manteniendo la misma relación agua – cemento de cada resistencia especificada.

La medida de asentamiento se toma al finalizar la mezcla de prueba, esta medida nos proporciona información acerca de la trabajabilidad del hormigón en nuestro caso nos propusimos un asentamiento de 8 ± 2 cm.

El valor del peso unitario real será tomado una vez comprobado el asentamiento, este valor real diferirá del peso unitario calculado en 1 a 2 %.

4.5.2 Procedimiento de corrección de mezclas

4.5.2.1 Factor de corrección por peso unitario (F1)

Se toma el peso unitario del hormigón en estado fresco siendo este el peso unitario real y se relaciona con el peso unitario del hormigón calculado, no proporcionara un factor de corrección de mezcla que lo llamaremos F1.

$$F1 = \frac{Puh (real)}{Puh (calculado)}$$

4.5.2.2 Corrección del agua neta

Esta corrección se realiza con relación al asentamiento arrojado, pues si bien conocemos un hormigón es demasiado fluido es por exceso de agua y si es demasiado seco es por escasez de agua, sin olvidar que se debemos mantener la relación agua – cemento especificado en cada una de las resistencias que anteriormente en el resumen de mezclas se especificó.

$$\text{Agua neta} = \frac{\text{Agua neta anterior}}{F1} + 2 \times (\text{Asentamiento propuesto} - \text{Asentamiento real})$$

4.5.3 Corrección de dosificación de mezclas de 210, 280 y 350 (kg/cm²)

4.5.3.1 Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba para resistencia a la compresión de 210 kg/cm²

Tabla 4.7 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 210 (kg/cm²) _ Primera Reestimación

Primera Reestimación		
Puh (calculado)	2239	kg/m ³
Puh (real)	2154	kg/m ³
Asent. Propuesto	8	cm
Asent. Obtenido	14	cm
Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)		

Tabla 4.8 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm²) _ Primera Reestimación

Resumen de material para resistencia de 210 (kg/cm²) (Primera Reestimación)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
F1		1.0393
Relación a/ c		0.547
Agua neta		185
Agua de mezcla	223	4462
Cemento	339	6771
Agr. Grueso (Natural)	864	14581
Ag. Fino (Natural)	729	17273
Puh (Calculado)	2154 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.9 Propiedades del Hormigón fresco _ Resistencia de 210 (kg/cm²) _ Segunda Reestimación

Segunda Reestimación		
Puh (calculado)	2154	kg/m ³
Puh (real)	2177	kg/m ³
Asent. Propuesto	8	cm
Asent. Obtenido	9	cm

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.10 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm²) _ Segunda Reestimación

Resumen de material para resistencia de 210 (kg/cm²) (Segunda Reestimación)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
F1		0.9895
Relación a/ c		0.547
Agua neta		185
Agua de mezcla	224	4472
Cemento	338	6770
Agr. Grueso (Natural)	876	14786
Ag. Fino (Natural)	739	17516
Puh (Calculado)	2177 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Con la reestimación dos, el hormigón tuvo un asentamiento de 8.5 cm que está en el rango que nos propusimos al inicio de 8 ± 2 cm y como peso unitario del hormigón en estado fresco obtuvimos ($P_{uh \text{ real}}$) de 2191 kg/m³.

A continuación, la tabla 4.11 muestra el resumen definitivo de la cantidad de material para la resistencia de 210 kg/cm² y para 17 cilindros de 15 x 30 cm a ser fundidos.

Tabla 4.11 Resumen de cantidad de material para resistencia de 210 (kg/cm²) _ para 17 especímenes

Resumen de material para resistencia de 210 (kg/cm²)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,110 m³
F1		0.9895
Relación a/ c		0.547
Agua neta		185
Agua de mezcla	224	24594
Cemento	338	37232
Agr. Grueso (Natural)	876	81323
Ag. Fino (Natural)	739	96337
Puh (Calculado)	2177 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

4.5.3.2 *Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba para resistencia a la compresión de 280 kg/cm²*

Tabla 4.12 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 280 (kg/cm²) _ Primera Reestimación

Primera Reestimación		
Puh (calculado)	2203	kg/m ³
Puh (real)	2177	kg/m ³
Asent. Propuesto	8	cm
Asent. Obtenido	5	cm
Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)		

Tabla 4.13 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm²) _ Primera Reestimación

Resumen de material para resistencia de 280 (kg/cm²) (Primera Reestimación)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
F1	1.0119	
Relación a/ c	0.438	
Agua neta	189	
Agua de mezcla	232	4635
Cemento	431	8615
Agr. Grueso (Natural)	825	13786
Ag. Fino (Natural)	689	16507
Puh (Calculado)	2177 (kg/m³)	
Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)		

Con la reestimación uno, el hormigón tuvo un asentamiento de 7.5 cm que está en el rango que nos propusimos al inicio de 8 ± 2 cm y como peso unitario del hormigón en estado fresco obtuvimos ($P_{uh \text{ real}}$) de 2194 kg/m³.

A continuación, la tabla 4.14 muestra el resumen definitivo de la cantidad de material para la resistencia de 280 kg/cm² y para 17 cilindros de 15 x 30 cm a ser fundidos.

Tabla 4.14 Resumen de cantidad de material para resistencia de 280 (kg/cm²) _ para 17 especímenes

Resumen de material para resistencia de 280 (kg/cm²)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,110 m³
F1	1.0119	
Relación a/ c	0.438	
Agua neta		189
Agua de mezcla	232	25493
Cemento	431	47380
Agr. Grueso (Natural)	825	75822
Ag. Fino (Natural)	689	90791
Puh (Calculado)	2177 (kg/m³)	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

4.5.3.3 Corrección por peso unitario y asentamiento en las mezclas de prueba para resistencia a la compresión de 350 kg/cm²

Tabla 4.15 Propiedades del Hormigón fresco _ Resistencia de 350 (kg/cm²) _ Primera Reestimación

Primera Reestimación		
Puh (calculado)	2215	kg/m ³
Puh (real)	2180	kg/m ³
Asent.	8	cm
Propuesto		
Asent. Obtenido	0.5	cm

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.16 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm²) _ Primera Reestimación

Resumen de material para resistencia de 350 (kg/cm²) (Primera Reestimación)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
F1	1.0159	
Relación a/ c	0.363	
Agua neta	201	
Agua de mezcla	231	4614
Cemento	555	11092
Agr. Grueso (Natural)	749	12920
Ag. Fino (Natural)	646	14974
Puh (Calculado)	2180	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.17 Propiedades del Hormigón fresco _ Resistencia de 350 (kg/cm²) _ Segunda Reestimación

Segunda Reestimación		
Puh (calculado)	2180	kg/m ³
Puh (real)	2171	kg/m ³
Asent. Propuesto	8	cm
Asent. Obtenido	3	cm

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.18 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm²) _ Segunda Reestimación

Resumen de material para resistencia de 350 (kg/cm²) (Segunda Reestimación)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
F1	1.0039	
Relación a/ c	0.363	
Agua neta	210	
Agua de mezcla	239	4780
Cemento	580	11600
Agr. Grueso (Natural)	726	12528
Ag. Fino (Natural)	626	14520
Puh (Calculado)	2171	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.19 Propiedades del Hormigón fresco_ Resistencia de 350 (kg/cm²) _ Tercera Reestimación

Tercera Reestimación		
Puh (calculado)	2171	kg/m ³
Puh (real)	2177	kg/m ³
Asent. Propuesto	8	cm
Asent. Obtenido	4.5	cm

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 4.20 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm²) _ Tercera Reestimación

Resumen de material para resistencia de 350 (kg/cm²) (Tercera Reestimación)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,020 m³ (Prueba)
F1	0.9974	
Relación a/ c	0.363	
Agua neta	218	
Agua de mezcla	246	4922
Cemento	601	12017
Agr. Grueso (Natural)	714	12322
Ag. Fino (Natural)	616	14282
P_{uh} (Calculado)	2177	

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Con la reestimación tres, el hormigón tuvo un asentamiento de 8.0 cm que está en el rango que nos propusimos al inicio de 8 ± 2 cm y como peso unitario del hormigón en estado fresco obtuvimos ($P_{uh \text{ real}}$) de 2183 kg/m³.

A continuación, la tabla 4.21 muestra el resumen definitivo de la cantidad de material para la resistencia de 350 kg/cm² y para 17 cilindros de 15 x 30 cm a ser fundidos.

Tabla 4.21 Resumen de cantidad de material para resistencia de 350 (kg/cm²) _ para 17 especímenes

Resumen de material para resistencia de 350 (kg/cm²)		
Material	kg/m³	Gramos para 0,110 m³
F1		0.9974
Relación a/ c		0.363
Agua neta		218
Agua de mezcla	246	27069
Cemento	601	66092
Agr. Grueso (Natural)	714	67774
Ag. Fino (Natural)	616	78551
Puh (Calculado)		2177

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

4.6 Resultados de ensayos a compresión de las mezclas a los 28 días

Las pruebas se realizaron para probetas estándar de 15 x 30 cm a la edad de 28 días después de curadas en la cámara de humedad. Esta prueba que se realiza a los 28 días debido a que el hormigón ha alcanzado un 85% a 95% de la resistencia de diseño.

El procedimiento a seguir para la fabricación y curado, se realiza por medio de la especificación descrita en la Norma (ASTM C 192, 2016), “Practica para fabricar y curar probetas cilíndricas de Hormigón en el laboratorio”.

Para realizar el ensayo de resistencia a la compresión se tomó en cuenta la especificación descrita en la norma (ASTM C 39, 2001), “Resistencia a la Compresión de probetas cilíndricas de hormigón”.

A continuación, los resultados de probetas ensayadas a compresión para resistencias de 210, 280 y 350 kg/cm².



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ESTÁNDAR

A LA EDAD DE 28 DÍAS

ASTM C-39 (NTE – INEN 1573:2010 1R)

ORIGEN: PINTAG

Ensayo de Compresión a los 28 días $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo de Compresión a los 28 días $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$										
Muestra N°	$f'c$ Requerida	$f'c$ Diseño	Fecha Elab.	Fecha Ens.	Diámetro Promedio	Altura Promedio	Área	Carga máxima	$f'c$ Obtenida	% Resis Obt.
	kg/cm^2	kg/cm^2			cm	cm	cm^2	kg	kg/cm^2	%
C7	210	220.5	03/02/2022	03/03/2022	15.03	29.85	177.30	37987	214.25	97.16
C13	210	220.5	03/02/2022	03/03/2022	15.08	33.00	178.49	38287	214.51	97.28
Promedio									214.38	97.22

La resistencia final a los 28 días de los hormigones diseñados para una resistencia requerida de 210 kg/cm^2 y una resistencia de diseño de 220 kg/cm^2 es de 214.38 kg/cm^2 , igual al 97.22 % de su resistencia de diseño, dosificación obtenida por el método de diseño ACI 211.1 (MODIFICADO).

Ensayo de Compresión a los 28 días $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo de Compresión a los 28 días $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$										
Muestra	$f'c$ Requerida	$f'c$ Diseño	Fecha Elab.	Fecha Ens.	Diámetro Promedio	Altura Promedio	Área	Carga máxima	$f'c$ Obtenida	% Resis Obt.
	kg/cm^2	kg/cm^2			cm	cm	cm^2	kg	kg/cm^2	%
D4	280	294	14/02/2022	14/03/2022	15.05	30.00	177.89	50082	281.53	95.76
D9	280	294	14/02/2022	14/03/2022	15.05	29.90	177.89	50217	282.29	96.02
Promedio									281.91	95.89

La resistencia final a los 28 días de los hormigones diseñados para una resistencia requerida de 280 kg/cm^2 y una resistencia de diseño de 294 kg/cm^2 es de 281.91 kg/cm^2 , igual al 95.89 % de su resistencia de diseño, dosificación obtenida por el método de diseño ACI 211.1 (MODIFICADO).

Ensayo de Compresión a los 28 días $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo de Compresión a los 28 días $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$										
Muestra	$f'c$ Requerida	$f'c$ Diseño	Fecha Elab.	Fecha Ens.	Diámetro Promedio	Altura Promedio	Área	Carga máxima	$f'c$ Obtenida	% Resis Obt.
	kg/cm^2	kg/cm^2			cm	cm	cm^2	kg	kg/cm^2	%
J11	350	367.5	03/03/2022	03/04/2022	15.60	30.45	191.13	70055.00	366.52	99.73
J14	350	367.5	03/03/2022	03/04/2022	15.05	30.00	177.89	62450.35	351.05	95.52
								Promedio	358.79	97.63

La resistencia final a los 28 días de los hormigones diseñados para una resistencia requerida de 350 kg/cm^2 y una resistencia de diseño de 367.50 kg/cm^2 es de 358.79 kg/cm^2 , igual al 97.63 % de su resistencia de diseño, dosificación obtenida por el método de diseño ACI 211.1 (MODIFICADO).

4.7 Determinación de las propiedades del hormigón fraguado.

La determinación del peso unitario del hormigón fraguado se basa en la presencia de las siguientes propiedades:

Permeabilidad: la correcta compactación y vibración del hormigón hace que la cantidad de poros disminuya en la superficie de los cilindros, y al ser sometidos al ensayo de compresión jamás se observó partículas de agua en su interior.

Retracción: los especímenes al ser introducidos a la cámara de curado, presentan un cambio de volumen que no es perceptible a simple vista.

Resistencia a la compresión: la resistencia a la compresión depende de la edad a la cual los especímenes se van a ensayar; se dice que el hormigón alcanza su máxima resistencia a los 28 días, que fueron ensayados nuestros cilindros obteniendo un porcentaje entre 95-97 (%), de su resistencia de diseño.

Deformabilidad: para obtener el módulo de elasticidad del hormigón para diferentes resistencias es necesario tener un diagrama esfuerzo – deformación específica, el mismo que tiene un comportamiento lineal semejante al comportamiento del acero.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN FRAGUADO

ORIGEN: PINTAG

Peso Unitario del hormigón fraguado $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Muestra	Diámetro		Altura		$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$		Área cm^2	Volumen cm^3	Masa kg	d Hormigón kg/m^3
	cm		cm		Diámetro Promedio	Altura Promedio				
	cm	cm	cm	cm	cm	cm				
C7	15.10	14.95	29.90	29.80	15.03	29.85	177.30	5292.53	11.56	2184.21
C13	15.05	15.10	34.00	32.00	15.08	33.00	178.49	5890.04	12.62	2142.60

Peso Unitario del hormigón fraguado $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$

Muestra	Diámetro		Altura		$f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$		Área cm^2	Volumen cm^3	Masa kg	d Hormigón kg/m^3
	cm		cm		Diámetro Promedio	Altura Promedio				
	cm	cm	cm	cm	cm	cm				
D4	15.10	15.00	30.00	30.00	15.05	30.00	177.89	5336.84	11.56	2166.08
D9	15.10	15.00	29.90	29.90	15.05	29.90	177.89	5319.05	11.48	2158.28

Peso Unitario del hormigón fraguado $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$

Muestra	Diámetro		Altura		$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$		Área cm^2	Volumen cm^3	Masa kg	d Hormigón kg/m^3
	cm		cm		Diámetro Promedio	Altura Promedio				
	cm	cm	cm	cm	cm	cm				
J11	15.60	15.60	30.40	30.50	15.60	30.45	191.13	5820.05	12.56	2158.06
J14	15.00	15.10	30.00	30.00	15.05	30.00	177.89	5336.84	11.58	2169.82

CAPITULO V

5 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD

5.1 Verificación y preparación de equipos para medir las deformaciones de especímenes de hormigón, a través del ensayo de compresión.

Los equipos e instrumentos que permitirán realizar el ensayo de Modulo de Elasticidad del hormigón a través del ensayo de compresión son:

- Maquina universal.
- Deformímetro.

Para obtener resultados lo más preciso posibles es necesario contar con la respectiva certificación de calibración de equipos e instrumentos y así disminuir errores en la obtención final de datos.

Maquina Universal

La máquina universal que se utilizó para esta investigación es de capacidad de 100 toneladas y apreciación de lectura en la carga es de 10 kilogramos, misma que se encuentra calibrada y certificada basada en la norma (ASTM E 74, 2018).

Deformímetro

El deformímetro usado permite medir la deformación axial y transversal de cilindros de prueba; está compuesto por dos collarines, mismos que se sitúan de forma concéntrica en el sentido transversal del cilindro, estos dos collarines están enlazados por un deformímetro (reloj comparador), cuya apreciación es de 0.001 mm, permitiendo obtener datos de los desplazamientos verticales entre los dos collarines colocados en el cilindro de hormigón. El instrumento no resiste cargas de rotura es por eso que se toma datos hasta un cierto número de carga aplicada, ya que podría dañar de forma permanente el mismo.



Figura 5.1 *Especimen de hormigón, con equipo para determinación de deformaciones longitudinales.*

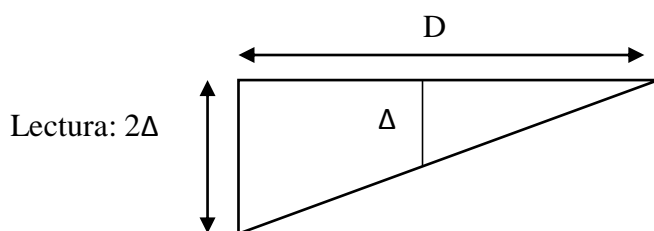
La longitud efectiva recomendada entre los dos collarines es de 15 cm, para especímenes estándar de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. La norma establece que la longitud efectiva no deberá ser menor de tres veces el tamaño máximo del agregado ser mayor a dos tercios la altura del espécimen.

La norma (ASTM C 469, 1994) establece que, si las distancias de la barra pivote y de la línea de base de medida del deformímetro al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo, son iguales, la deformación es igual a la mitad de la lectura del deformímetro, debido al montaje del aparato del dial de deformaciones se tomó esta consideración y la fórmula utilizada para determinación de deformación unitaria es la siguiente.

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Lectura}}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Lectura} \times 10^{-3}}{2 \times L_0}$$



Donde:

ε = Deformación unitaria.

Δ = Deformación al eje axial de la muestra.

L₀= Longitud inicial de medida (150 mm).

Los datos obtenidos de este ensayo permiten realizar el diagrama esfuerzo vs deformación específica cuya pendiente es el Módulo de Elasticidad del Hormigón.

5.2 Determinación de la resistencia característica del hormigón.

En nuestra investigación se determinó una sola resistencia confiable a la compresión simple del hormigón por cada diseño siendo de 210, 280 y 350 kg/cm².

Los ensayos realizados en las probetas de hormigón necesitan tener un valor representativo mismo que se determina mediante la media aritmética **f_{cm}** de los **n** valores de rotura, representados por 15 ensayos realizados.

La resistencia característica de nuestro hormigón se determinó según lo que proponen tres autores; Montoya – Meseguer – Moran, Oscar Padilla y Saliger, los tres son valores que adoptan la media aritmética como base de sus cálculos.

Con los datos de carga máxima obtenidos en cada ensayo de compresión con módulo de elasticidad se obtuvo la resistencia característica para 210, 280 y 350 kg/cm².

5.2.1 Según Montoya – Meseguer – Moran

Se define como resistencia característica (**f_{ck}**) del hormigón, aquel valor que presenta un grado de confianza del 95%, por lo que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que **f_{ck}**. De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal (fig. 5.2), la resistencia característica viene definida por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm} \times (1 - 1.64 \delta)$$

Donde:

f_{cm} = Resistencia media

δ = Coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$d = \frac{f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(f_{ci} - f_{cm})^2}{f_{cm}}}$$

Resistencia característica se refiere, a la resistencia a la compresión medida sobre probetas cilíndricas de 15x30 cm, a una edad de 28 días de fabricadas, conservadas y ensayadas según métodos normalizados.

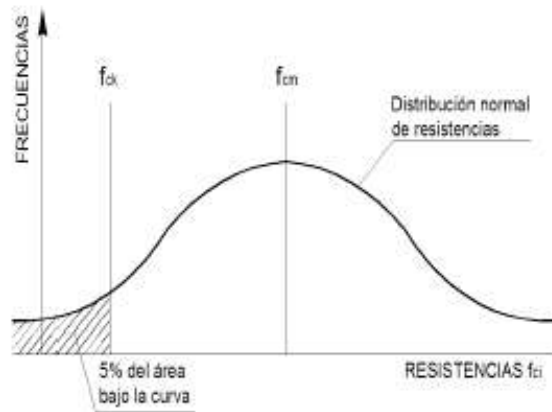


Figura 5.2 Distribución normal de resistencia a la compresión del hormigón.

FUENTE Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f^c=21,28$ MPA) fabricado con material de la mina Pintag. (Figura 7.1. Pág. 179). (Asmal et al., 2012).

Definida la resistencia característica se obtendrán también los límites superior e inferior, para ello se calculará la desviación estándar, con los datos experimentales de los diseños de mezclas de 210, 280 y 350 kg/cm²

$$f'ck_{m\acute{a}x} = f'ck + s$$

$$f'ck_{media} = f'ck$$

$$f'ck_{min} = f'ck - s$$

Donde:

$f'ck$ =resistencia característica.

S = Desviación estándar.

A continuación, se procede a calcular con los datos obtenidos en el laboratorio.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

**CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN
MONTROYA-MESEGUER-MORAN (210 kg/cm²)**

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 210 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	217.16
2	212.03
3	217.80
4	216.04
5	215.87
6	219.13
7	219.39
8	212.59
9	216.65
10	220.19
11	216.00
12	216.22
13	211.27
14	218.38
15	219.73

Desviación estándar (S) =	2.783	kg/cm²
Resistencia media (f'cm) =	216.56	kg/cm²
Coefficiente de variación de resistencia (δ)	0.013	
=		

f'ck máx.=	214.78	kg/cm²
f'ck=	212.00	kg/cm²
f'ck min=	209.22	kg/cm²



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

**CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN
MONTROYA-MESEGUER-MORAN (280 kg/cm²)**

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 280 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	284.17
2	282.56
3	284.48
4	281.22
5	281.28
6	283.33
7	282.24
8	281.32
9	282.62
10	280.65
11	284.01
12	283.35
13	280.74
14	286.47
15	283.26

Desviación estándar (S) =	1.619	kg/cm²
Resistencia media (f'cm) =	282.78	kg/cm²
Coefficiente de variación de resistencia (δ)	0.006	
=		

f'ck	281.74	kg/cm²
máx.=		
f'ck=	280.12	kg/cm²
f'ck min=	278.51	kg/cm²



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

**CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN
MONTOYA-MESEGUER-MORAN (350 kg/cm²)**

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 350 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	361.09
2	350.51
3	354.31
4	366.85
5	350.27
6	362.55
7	365.30
8	360.01
9	364.40
10	363.03
11	365.66
12	350.32
13	355.24
14	355.25
15	350.42

Desviación estándar (S) =	6.268	kg/cm²
Resistencia media (f'cm) =	358.35	kg/cm²
Coefficiente de variación de resistencia (δ)	0.017	
=		

f'ck	354.34	kg/cm²
máx.=		
f'ck=	348.07	kg/cm²
f'ck min=	341.80	kg/cm²

5.2.2 Según Oscar Padilla

El método de Oscar Padilla permite determinar la resistencia característica, consiste en ordenar los valores de las resistencias obtenidas al ensayar los cilindros de hormigón de mayor a menor. A continuación, los valores ordenados se dividen en dos subgrupos, al tener un número par tendremos igual número de datos de resistencia. Los dos subgrupos formados de datos de resistencias tienen como fin, calcular la media aritmética de cada uno de ellos y con la fórmula que se muestra a continuación se estima calcular el valor de la resistencia característica para el diseño de mezclas de 210, 280 y 350 kg/cm².

$$f'_{ck} = 2f'_{cm1} + f'_{cm2}$$

Donde:

f'_{ck} = Resistencia característica.

f'_{cm1} = Promedio de resistencia del primer subgrupo

f'_{cm2} = Promedio de resistencia del segundo subgrupo

A continuación, se procede a calcular con los datos obtenidos en el laboratorio.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN

OSCAR PADILLA (210 kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 210 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	217.16
2	212.03
3	217.80
4	216.04
5	215.87
6	219.13
7	219.39
8	212.59
9	216.65
10	220.19
11	216.00
12	216.22
13	211.27
14	218.38
15	219.73

Resistencia	Resistencia
kg/cm²	kg/cm²
220.19	216.22
219.73	216.04
219.39	216.00
219.13	215.87
218.38	212.59
217.80	212.03
217.16	211.27
fcm1= 218.82	fcm2= 214.29
kg/cm²	kg/cm²

Desviación estándar (S) =	2.783
f'ck máx.=	226.14 kg/cm²
f'ck=	223.36 kg/cm²
f'ck min=	220.58 kg/cm²



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN

OSCAR PADILLA (280 kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 280 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	284.17
2	282.56
3	284.48
4	281.22
5	281.28
6	283.33
7	282.24
8	281.32
9	282.62
10	280.65
11	284.01
12	283.35
13	280.74
14	286.47
15	283.26

Resistencia	Resistencia
kg/cm²	kg/cm²
286.47	282.56
284.48	282.24
284.17	281.32
284.01	281.28
283.35	281.22
283.33	280.74
283.26	280.65
fcm1= 284.15	kg/cm² fcm2= 281.43
	kg/cm²

Desviación estándar (S) =	1.619
f'ck máx.=	288.50 kg/cm²
f'ck=	286.88 kg/cm²
f'ck min=	285.26 kg/cm²



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN

SALIGER (350 kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 350 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	361.09
2	350.51
3	354.31
4	366.85
5	350.27
6	362.55
7	365.30
8	360.01
9	364.40
10	363.03
11	365.66
12	350.32
13	355.24
14	355.25
15	350.42

Resistencia	Resistencia
kg/cm²	kg/cm²
366.85	355.25
365.66	355.24
365.30	354.31
364.40	350.51
363.03	350.42
362.55	350.32
361.09	350.27
fcm1= 364.13	kg/cm² fcm2= 352.33
	kg/cm²

Desviación estándar (S) =	6.268
f'ck máx.=	382.19 kg/cm²
f'ck=	375.92 kg/cm²
f'ck min=	369.65 kg/cm²

5.2.3 Según Saliger

La resistencia característica según la propuesta de Saliger consiste en calcular la media aritmética del total de ensayos realizados, y adoptar el 75% del promedio de los n valores.

La resistencia característica viene definida por la siguiente expresión y se estima calcular la resistencia característica para los diseños de mezclas de 210, 280 y 350 kg/cm².

$$f'_{ck} = 0.75 f'_{cm}$$

Donde:

f'_{ck} = Resistencia característica.

f'_{cm} = Resistencia media de la población de resistencias.

A continuación, se procede a calcular con los datos obtenidos en el laboratorio



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN

SALIGER (210 kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 210 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	217.16
2	212.03
3	217.80
4	216.04
5	215.87
6	219.13
7	219.39
8	212.59
9	216.65
10	220.19
11	216.00
12	216.22
13	211.27
14	218.38
15	219.73

Desviación estándar (S)	2.783	kg/cm²
=		
Resistencia media (f'cm)	216.56	kg/cm²
=		

f'ck max=	165.21	kg/cm²
fck=	162.42	kg/cm²
f'ck min=	159.64	kg/cm²



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN

SALIGER (280 kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 280 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	284.17
2	282.56
3	284.48
4	281.22
5	281.28
6	283.33
7	282.24
8	281.32
9	282.62
10	280.65
11	284.01
12	283.35
13	280.74
14	286.47
15	283.26

Desviación estándar (S) =	1.619	kg/cm²
Resistencia media (f'cm) =	282.78	kg/cm²

f'ck	213.70	kg/cm²
máx.=		
f'ck=	212.09	kg/cm²
f'ck min=	210.47	kg/cm²



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN

SALIGER (350 kg/cm²)

ORIGEN: PINTAG

Resistencia Característica para cilindros con resistencias de 350 kg/cm²

Cilindro	Resistencia
No	kg/cm²
1	361.09
2	350.51
3	354.31
4	366.85
5	350.27
6	362.55
7	365.30
8	360.01
9	364.40
10	363.03
11	365.66
12	350.32
13	355.24
14	355.25
15	350.42

Desviación estándar (S) =	6.268	kg/cm²
Resistencia media (f'cm) =	358.35	kg/cm²

f'ck máx.=	275.03	kg/cm²
f'ck=	268.76	kg/cm²
f'ck min=	262.49	kg/cm²

A continuación, presentamos un cuadro resumen de las resistencias características calculadas para mezclas de 210, 280 y 350 kg/cm² según los autores mencionados anteriormente.

AUTOR	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (f'ck)		
	(kg/cm²)		
	f'c=210	f'c=280	f'c=350
Resistencia Media	216.56	282.78	358.35
Montoya-Meseguer-Moran	212.00	280.12	348.07
Padilla	223.36	286.88	375.92
Saliger	162.42	212.09	268.76

5.3 Determinación del módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo.

El hormigón al no ser en su totalidad un material elástico, se define al módulo de elasticidad como la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial, por lo que se considera correcto hablar de deformación longitudinal, que no es un valor constante en el diagrama esfuerzo versus deformación unitaria

Para determinar el módulo de elasticidad del hormigón existen tres maneras:

- Determinación experimental.
- Determinación estadística.
- Determinación teórica.

5.3.1 Determinación experimental del módulo de elasticidad y procesamiento estadístico de los resultados según la norma ASTM C469-94

El ensayo de determinación del módulo de elasticidad se realizó en base a la norma (ASTM C 469, 1994), “Método Estándar de Ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Concreto en Compresión”.

Para determinar el módulo de elasticidad, se procede de la siguiente manera:

- Obtenido el diagrama Esfuerzo – Deformación Unitaria, se localiza dos puntos importantes.
 - En el eje que indica la deformación unitaria (abscisas), localizamos $\epsilon=0.00005$ mm/mm, en ese punto, trazamos una paralela al eje del esfuerzo (ordenadas), hasta interceptar la curva.

- En el eje que indica el esfuerzo (ordenadas) localizamos el $\sigma = 0.40 \times \sigma_r$, en ese punto, trazamos una paralela al eje de deformación unitaria (abscisas), hasta interceptar la curva.
- Una vez localizados los dos puntos anteriormente descritos se traza una recta que una estos dos puntos y la pendiente de la misma será la determinación del módulo de elasticidad del hormigón.

La norma ASTM C 469-94 se basa en el método de la secante (figura 5.3) y define la siguiente ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad experimental del hormigón:

$$E_c = \frac{0,4 \sigma_{max} - \sigma_{0,00005}}{\epsilon_{0,4 \sigma_{max}} - 0,00005}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo de compresión máximo.

$\sigma_{0,00005}$ = Esfuerzo de compresión correspondiente a 0,00005 mm/mm (deformación unitaria).

$\epsilon_{0,4 \sigma_{max}}$ = Deformación unitaria correspondiente al 40% del esfuerzo máximo.

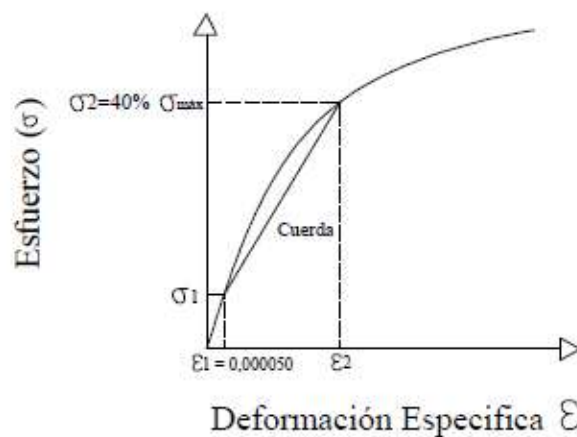


Figura 5.3 Módulo de Elasticidad - Método de la Secante

FUENTE: Módulo Estático de Elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f'_c = 21$ y 28 MPa, fabricado con materiales de la mina de Guayllabamba-Pichincha y Cemento Selvalegre. (Figura 7.1. Pág. 244). (Morales et al., 2012).

5.3.1.1 Procesamiento estadístico de los resultados.

Según Montoya, “El concepto de resistencia característica se refiere, a la resistencia a la compresión medida sobre probetas de 15×30 mismas que serán cilíndricas y con veintiocho días de edad, sometidas a ensayos normalizados; pero este ensayo no es limitado puede realizarse a cualquier, probeta, edad y modo de conservación del hormigón, ya que es una definición de tipo estadístico”. (Asmal et al., 2012)

En esta investigación también se determinará el módulo de elasticidad experimental del hormigón con los conceptos de media aritmética propuesta según los autores Montoya-Meseguer-Moran Oscar Padilla y Saliger por ser propuestas estadísticas que se mencionaron en el subcapítulo 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3.

5.3.1.2 Módulo de elasticidad experimental del hormigón por el Método ASTM C469-1994.

A continuación, se muestra la recolección de datos tomados al realizar el ensayo de compresión con módulo de elasticidad, las gráficas esfuerzo versus deformación y el cálculo para determinar el módulo de elasticidad experimental del hormigón de un espécimen por mezcla de 210, 280 y 350 kg/cm^2 . Para determinar el factor nos basamos en la normativa ACI 318-19.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

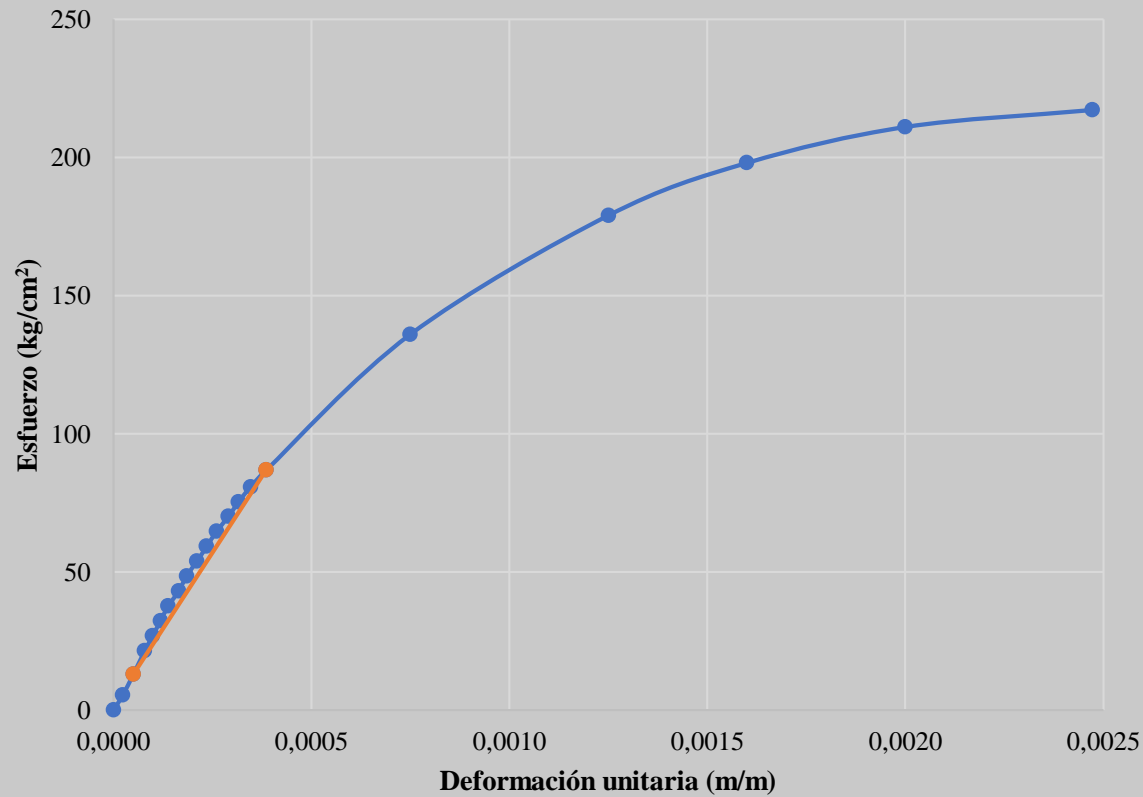
**ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MODULO DE ELASTICIDAD EN
CILINDROS DE HORMIGÓN CON MEZCLAS DE 210 kg/cm²**

CUADRO DE ESFUERZO VERSUS DEFORMACIÓN UNITARIA

Espécimen:	C1			
f'c requerida=	210	kg/cm ²		
f'c diseño=	220.5	kg/cm ²		
Elaboración:	03/02/2022			
Ensayo:	03/03/2022			
Carga Máxima=	40318	kg	Edad:	28 días
Área=	185.66	cm ²	Apreciación:	0.001 mm
f'c=	217.16	kg/cm ²	L. Medida=	152 mm

N°	Carga kg	Deformación mm	Esfuerzo kg/cm ²	Deformación unitaria mm/mm
1	0	0.00000	0	0.000000
2	1000	0.00704	5.39	0.000023
$\sigma(0.00005)=$			12.90	0.000050
3	4000	0.02408	21.54	0.000079
4	5000	0.03008	26.93	0.000099
5	6000	0.03608	32.32	0.000119
6	7000	0.04208	37.70	0.000138
7	8000	0.05008	43.09	0.000165
8	9000	0.05608	48.48	0.000184
9	10000	0.06408	53.86	0.000211
10	11000	0.07160	59.25	0.000236
11	12000	0.07912	64.63	0.000260
12	13000	0.08816	70.02	0.000290
13	14000	0.09616	75.41	0.000316
14	15000	0.10520	80.79	0.000346
40% $\sigma_r =$			86.86	0.000386
15	25250	0.22800	136.00	0.000750
16	33233	0.38000	179.00	0.001250
17	36761	0.48640	198.00	0.001600
18	39174	0.60800	211.00	0.002000
Carga Máxima			217.16	0.002472

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN C1 f'c=210 kg/cm²



$$E_c = \frac{0,4 \sigma_{max} - \sigma_{0,00005}}{\epsilon_{0,4 \sigma_{max}} - 0,00005}$$

$$factor (\gamma) = \frac{E_c}{\sqrt{f'c}}$$

40% σ_r = 86.86 (kg/cm²)

ϵ 40% σ_r = 0.000386 (mm/mm)

σ (0.00005) = 12.90 (kg/cm²)

E=	220130.37	(kg/cm ²)	Factor	
			(γ)=	14938



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

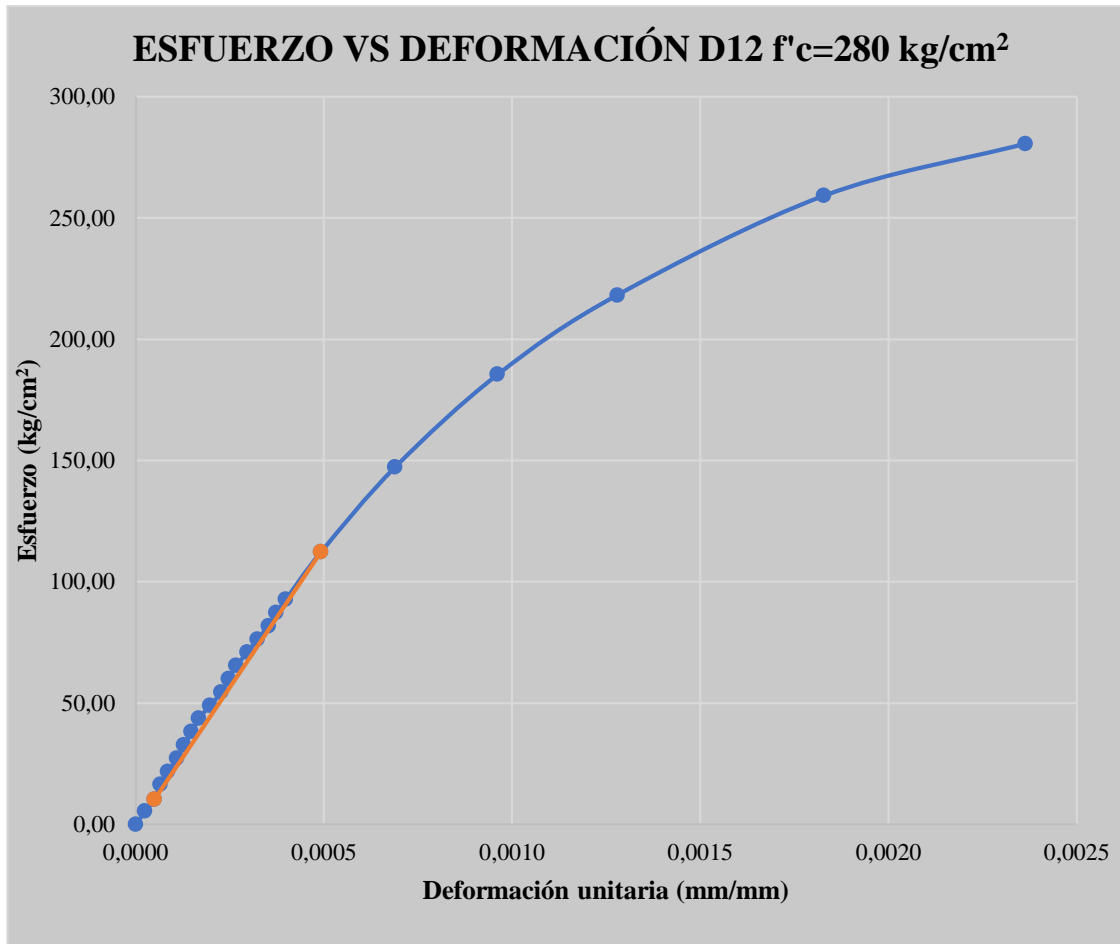
LABORATORIO DE HORMIGONES

**ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MODULO DE ELASTICIDAD EN
CILINDROS DE HORMIGÓN CON MEZCLAS DE 280 kg/cm²**

CUADRO DE ESFUERZO VERSUS DEFORMACIÓN UNITARIA

Espécimen:	D12		
f'c requerida=	280	kg/cm ²	
f'c diseño=	294	kg/cm ²	
Elaboración:	14/02/2022		
Ensayo:	14/03/2022		
Carga Máxima=	51431	kg	Edad: 28 días
Área=	183.25	cm ²	Apreciación= 0.001 mm
f'c=	280.65	kg/cm ²	L. Medida= 152 mm

N°	Carga kg	Deformación mm	Esfuerzo kg/cm ²	Deformación unitaria mm/mm
1	0	0.00000	0	0.000000
2	1000	0.00759	5.46	0.000025
$\sigma(0.00005)=$			10.22	0.000050
3	3000	0.02008	16.37	0.000066
4	4000	0.02608	21.83	0.000086
5	5000	0.03312	27.28	0.000109
6	6000	0.03912	32.74	0.000129
7	7000	0.04512	38.20	0.000148
8	8000	0.05112	43.66	0.000168
9	9000	0.06016	49.11	0.000198
10	10000	0.06920	54.57	0.000228
11	11000	0.07520	60.03	0.000247
12	12000	0.08120	65.48	0.000267
13	13000	0.09024	70.94	0.000297
14	14000	0.09824	76.40	0.000323
15	15000	0.10728	81.85	0.000353
16	16000	0.11328	87.31	0.000373
17	17000	0.12128	92.77	0.000399
40% $\sigma_r =$			112.26	0.000492
18	27000	0.20958	147.34	0.000689
19	34000	0.29248	185.54	0.000962
20	40000	0.38912	218.28	0.001280
21	47500	0.55602	259.20	0.001829
Carga Máxima			280.65	0.002365



$$E_c = \frac{0,4 \sigma_{max} - \sigma_{0,00005}}{\varepsilon_{0,4 \sigma_{max}} - 0,00005}$$

$$factor (\gamma) = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}}$$

40% σ_r = 112.26 (kg/cm²)

ε 40% σ_r = 0.00 (mm/mm)

σ (0.00005) = 10.22 (kg/cm²)

E=	230864.17	(kg/cm ²)	Factor	
			(γ)=	13780.67



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

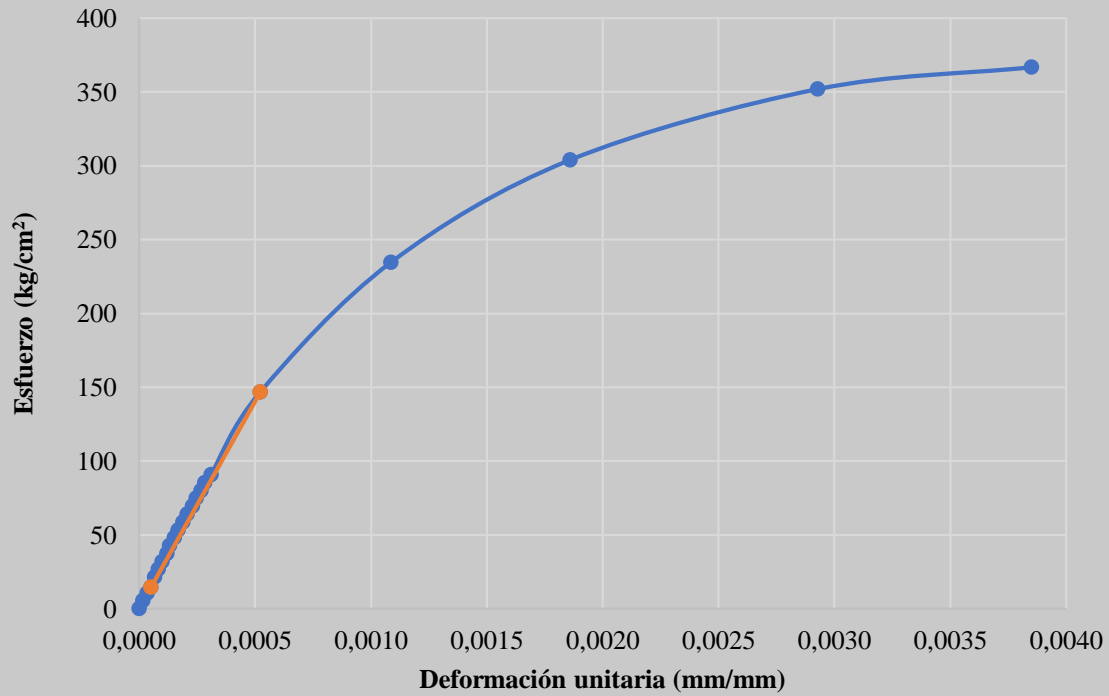
**ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MODULO DE ELASTICIDAD EN
CILINDROS DE HORMIGÓN CON MEZCLAS DE 350 kg/cm²**

CUADRO DE ESFUERZO VERSUS DEFORMACIÓN UNITARIA

Espécimen:	J4			
f'c requerida=	350	kg/cm ²		
f'c diseño=	367.5	kg/cm ²		
Elaboración:	03/02/2022			
Ensayo:	03/03/2022			
Carga Máxima=	68776.2158	kg	Edad:	28 días
Área=	187.48	cm ²	Apreciación=	0.01 mm
f'c=	366.85	kg/cm ²	L. Medida=	152 mm

N°	Carga kg	Deformación 1 mm x 10 ⁻³	Esfuerzo kg/cm ²	Deformación unitaria 1 mm x 10 ⁻⁶
1	0	0.00000	0	0.000000
2	1000	0.00500	5.33	0.000016
3	2000	0.01000	10.67	0.000033
σ(0.00005)=			14.58	0.000050
4	4000	0.02000	21.34	0.000066
5	5000	0.02500	26.67	0.000082
6	6000	0.03000	32.00	0.000099
7	7000	0.03600	37.34	0.000118
8	8000	0.04000	42.67	0.000132
9	9000	0.04600	48.01	0.000151
10	10000	0.05100	53.34	0.000168
11	11000	0.05700	58.67	0.000188
12	12000	0.06300	64.01	0.000207
13	13000	0.07000	69.34	0.000230
14	14000	0.07500	74.68	0.000247
15	15000	0.08100	80.01	0.000266
16	16000	0.08600	85.34	0.000283
17	17000	0.09400	90.68	0.000309
40% σ_r =			146.74	0.000522
27	44000	0.33030	234.70	0.001087
28	57000	0.56514	304.04	0.001859
29	66000	0.89010	352.04	0.002928
Carga Máxima			366.85	0.003851

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN J4 f'c=350 kg/cm2



$$E_c = \frac{0,4 \sigma_{max} - \sigma_{0,00005}}{\epsilon_{0,4 \sigma_{max}} - 0,00005}$$

$$factor (\gamma) = \frac{E_c}{\sqrt{f'c}}$$

40% σ_r = 146.74 (kg/cm²)

ϵ 40% σ_r = 0.000522 (mm/mm)

σ (0.00005) = 14.58 (kg/cm²)

E=	280002.08 (kg/cm ²)	Factor	(γ)= 14618.93
-----------	---------------------------------	---------------	--

Los cálculos se realizaron para los especímenes de cada resistencia. A continuación, las tablas 5.1 , 5.3 y 5.5 indican los puntos principales para obtener módulo de elasticidad experimental para mezclas de 210, 280 y 350 kg/cm², además se realizó el procesamiento estadístico de los resultados según Montoya, Padilla y Saliger como se muestra en las tablas 5.2, 5.4 y 5.6.

5.3.1.2.1 Resumen del Cálculo del Módulo de Elasticidad para mezclas de 210 kg/cm²

Tabla 5.1 Resumen del cálculo del Módulo de Elasticidad Experimental para mezclas de 210 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN PARA MEZCLAS DE 210 kg/cm²					
Cilindro	Resistencia	Esfuerzo	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad	Factor (γ)
	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	
C1	217.16	12.90	0.000050	220119	14937
		86.86	0.000386		
C2	212.03	12.12	0.000050	204761	14062
		84.81	0.000405		
C3	217.80	15.00	0.000050	220550	14944
		87.12	0.000377		
C4	216.04	13.63	0.000050	218523	14867
		86.42	0.000383		
C5	215.87	13.79	0.000050	217143	14779
		86.75	0.000386		
C6	219.13	13.33	0.000050	221190	14942
		87.65	0.000386		
C8	219.39	12.93	0.000050	221361	14945
		87.75	0.000388		
C9	212.59	12.73	0.000050	207787	14251
		85.04	0.000398		
C10	216.65	11.67	0.000050	219269	14897
		86.66	0.000392		
C11	220.19	12.96	0.000050	223571	15067
		88.08	0.000386		
C12	216.00	10.72	0.000050	218327	14855
		87.35	0.000401		
C14	216.22	16.34	0.000050	218536	14862
		86.49	0.000371		
C15	213.33	7.35	0.000050	213261	14601
		85.83	0.000418		
C16	218.38	15.51	0.000050	221046	14958
		87.35	0.000375		
C17	219.73	11.29	0.000050	222029	14978
		87.89	0.000395		
		Σ		217832	14796

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.2 Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental característico según la propuesta ASTM C469 para mezclas de 210 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL CARACTERÍSTICO (NORMA ASTM C469) PARA MEZCLAS DE 210 kg/cm²		
Autor	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)	Factor (γ)
Media Aritmética	217832	14796
Desviación Estándar	5303	282
Coefficiente de Variación	0.002434	0.01908
Montoya-Meseguer-Moran	209135	14334
Oscar Padilla	228771	15324
Saliger	163374	11097

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.3.1.2.2 Resumen del Cálculo del Módulo de Elasticidad para mezclas de 280 kg/cm²

Tabla 5.3 Resumen del cálculo del Módulo de Elasticidad Experimental para mezclas de 280 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN PARA MEZCLAS DE 280 kg/cm²					
Cilindro	Resistencia	Esfuerzo	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad	Factor (γ)
	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	
D1	284.17	14.00	0.000050	246099	14599
		113.67	0.000455		
D2	282.56	12.79	0.000050	241518	14368
		113.02	0.000465		
D3	284.48	12.96	0.000050	246152	14594
		113.39	0.000458		
D5	281.22	15.78	0.000050	235304	14031
		112.49	0.000461		
D6	281.28	12.24	0.000050	237045	14134
		112.51	0.000473		
D7	283.33	10.43	0.000050	244423	14521
		113.33	0.000471		
D8	282.24	11.95	0.000050	239762	14272
		112.89	0.000471		
D10	281.32	14.58	0.000050	237167	14140
		112.53	0.000463		
D11	282.62	11.61	0.000050	242100	14401
		113.05	0.000469		
D12	280.65	10.22	0.000050	232437	13875
		112.26	0.000489		
D13	284.01	11.36	0.000050	245180	14548
		113.60	0.000467		
D14	283.35	14.58	0.000050	244455	14522
		113.34	0.000454		
D15	280.74	10.46	0.000050	234631	14004
		112.29	0.000484		
D16	286.47	12.20	0.000050	249124	14719
		114.59	0.000461		
D17	283.26	14.81	0.000050	243787	14485
		113.30	0.000454		
		Σ		241279	14348

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.4 Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental característico según la propuesta ASTM C469 para mezclas de 280 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL CARACTERÍSTICO (NORMA ASTM C469) PARA MEZCLAS — DE 280 kg/cm²		
Autor	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)	Factor (γ)
Media Aritmética	241279	14348
Desviación Estándar	4971	257
Coefficiente de Variación	0.02060	0.01788
Montoya-Meseguer-Moran	233127	13927
Oscar Padilla	254368	15022
Saliger	180959	10761

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.3.1.2.3 Resumen del Cálculo del Módulo de Elasticidad para mezclas de 350 kg/cm²

Tabla 5.5 Resumen del cálculo del Módulo de Elasticidad Experimental para mezclas de 350 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN PARA MEZCLAS DE 350 kg/cm²					
Cilindro	Resistencia	Esfuerzo	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad	Factor
	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(γ)
J1	361.09	11.11	0.000050	274342	14437
		144.44	0.000536		
J2	350.51	12.00	0.000050	267641	14296
		140.20	0.000529		
J3	354.31	10.34	0.000050	269221	14303
		141.72	0.000538		
J4	366.85	14.58	0.000050	280594	14650
		146.74	0.000521		
J5	350.27	15.63	0.000050	265983	14212
		140.11	0.000518		
J6	362.55	15.48	0.000050	276205	14506
		145.02	0.000519		
J7	365.30	15.90	0.000050	278545	14574
		146.12	0.000518		
J8	360.01	18.75	0.000050	272876	14382
		144.00	0.000509		
J9	364.40	15.22	0.000050	277745	14550
		145.76	0.000520		
J10	363.03	18.18	0.000050	277358	14557
		145.21	0.000508		
J12	365.66	15.21	0.000050	278830	14582
		146.26	0.000520		
J13	350.32	15.91	0.000050	266567	14242
		140.13	0.000516		
J15	355.24	15.91	0.000050	269637	14306
		142.10	0.000518		
J16	355.25	15.44	0.000050	269776	14313
		142.10	0.000520		
J17	350.42	15.91	0.000050	267226	14275
		140.17	0.000515		
		Σ		272836	14412

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.6 Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental característico según la propuesta ASTM C469 para mezclas de 350 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL CARACTERÍSTICO (NORMA ASTM C469) PARA MEZCLAS DE 350 kg/cm²		
Autor	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)	Factor (γ)
Media Aritmética	272836	14412
Desviación Estándar	5101	151
Coefficiente de Variación	0.01870	0.01046
Montoya-Meseguer- Moran	264471	14165
Oscar Padilla	258355	14005
Saliger	204627	10809

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.3.2 Determinación teórica del módulo de elasticidad según la propuesta ACI 318-2019.

- El comité ACI 318-19 en el capítulo 19, numeral 19.2.2 establece la siguiente ecuación para determinar el módulo de elasticidad.
- a) Para valores de w_c entre 1440 y 2560 kg/m³; **es el que aplicaremos.**

$$E_c = 0.1351 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

- b) Para concreto de peso normal de 2320 kg/m³.

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Las tablas 5.7, 5.8 y 5.9 muestran el cálculo del módulo de elasticidad teórico propuesto por los comités ACI 318 para mezclas de 210, 280 y 350 kg/cm².

Tabla 5.7 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 210 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN (NORMA ACI 318) PARA MEZCLAS DE 210 kg/cm²		
Cilindro	Resistencias (kg/cm²)	ACI 318 (kg/cm²)
C1	217.16	200333
C2	212.03	197950
C3	217.80	200629
C4	216.04	199815
C5	215.87	199739
C6	219.13	201237
C8	219.39	201357
C9	212.59	198215
C10	216.65	200099
C11	220.19	201724
C12	216.00	199799
C14	216.22	199896
C15	213.33	198556
C16	218.38	200896
C17	219.73	201514
Σ	216.70	200121

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.8 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 280 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN (NORMA ACI 318) PARA MEZCLAS DE 280 kg/cm²		
Cilindro	Resistencias (kg/cm²)	A.C.I 318 (kg/cm²)
D1	284.17	228972
D2	282.56	228322
D3	284.48	229098
D5	281.22	227782
D6	281.28	227804
D7	283.33	228633
D8	282.24	228192
D10	281.32	227819
D11	282.62	228348
D12	280.65	227551
D13	284.01	228908
D14	283.35	228642
D15	280.74	227584
D16	286.47	229896
D17	283.26	228603
Σ	282.78	228411

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.9 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico según la propuesta ACI 318 y 363 para mezclas de 350 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN (NORMA ACI 318) PARA MEZCLAS DE 350 kg/cm²		
Cilindro	Resistencias (kg/cm²)	A.C.I 318 (kg/cm²)
J1	361.09	258422
J2	350.51	254608
J3	354.31	255983
J4	366.85	260477
J5	350.27	254522
J6	362.55	258944
J7	365.30	259924
J8	360.01	258036
J9	364.40	259605
J10	363.03	259118
J12	365.66	260052
J13	350.32	254541
J15	355.24	256322
J16	355.25	256325
J17	350.42	254576
Σ	358.35	257440

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Para obtener un valor característico del módulo de elasticidad teórico se debe reemplazar la resistencia característica de compresión calculada en el subcapítulo 5.2, en las fórmulas propuestas por los comités ACI 318.

Tabla 5.10 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico característico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 210 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO (NORMA ACI 318) PARA MEZCLAS DE 210 kg/cm²		
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA		MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO
AUTOR	(kg/cm²)	A.C.I 318 (kg/cm²)
Resistencia Media	216.56	222213
Montoya	212.00	219859
Padilla	223.36	225673
Saliger	162.42	192442

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.11 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico característico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 280 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO (NORMA ACI 318) PARA MEZCLAS DE 280 kg/cm²		
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA		MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO
AUTOR	(kg/cm²)	A.C.I 318 (kg/cm²)
Resistencia Media	282.78	253923
Montoya	280.12	252728
Padilla	286.88	255756
Saliger	212.09	219903

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

Tabla 5.12 Determinación del Módulo de Elasticidad Teórico característico según la propuesta ACI 318 para mezclas de 350 kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO (NORMA ACI 318) PARA MEZCLAS DE 350 kg/cm²		
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA		MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO
AUTOR	(kg/cm²)	A.C.I 318 (kg/cm²)
Resistencia Media	358.35	285844
Montoya	348.07	281714
Padilla	375.92	292768
Saliger	268.76	247548

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4 Resultados Finales

5.4.1 Resumen de Cálculo de Módulo de Elasticidad del hormigón para mezclas de 210 kg/cm²

5.4.1.1.1 Módulo de Elasticidad Experimental

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL CARACTERÍSTICO (NORMA ASTM C469) PARA MEZCLAS DE 210 kg/cm²		
Autor	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)	Factor (γ)
Media Aritmética	217832	14796
Montoya-Meseguer-Moran	209135	14334
Oscar Padilla	228771	15324
Saliger	163374	11097

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4.1.1.2 Módulo de Elasticidad Teórico

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA		MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO
Autor	(kg/cm ²)	A.C.I 318 (kg/cm ²)
Resistencia Media	216.56	200057
Montoya-Meseguer-Moran	212.00	197938
Padilla	223.36	203172
Saliger	162.42	173255

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4.2 Resumen de Cálculo de Módulo de Elasticidad del hormigón para mezclas de 280 kg/cm²

5.4.2.1.1 Módulo de Elasticidad Experimental

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL CARACTERÍSTICO (NORMA ASTM C469) PARA MEZCLAS DE 280 kg/cm ²		
Autor	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	Factor (γ)
Media Aritmética	241279	14348
Montoya-Meseguer-Moran	233127	13927
Oscar Padilla	254368	15022
Saliger	180959	10761

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4.2.1.2 Módulo de Elasticidad Teórico

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA		MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO
Autor	(kg/cm ²)	A.C.I 318 (kg/cm ²)
Resistencia Media	282.78	228411
Montoya-Meseguer- Moran	280.12	227336
Padilla	286.88	230060
Saliger	212.09	197810

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4.3 Resumen de Cálculo de Módulo de Elasticidad del hormigón para mezclas de 350 kg/cm²

5.4.3.1.1 Módulo de Elasticidad Experimental

MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL CARACTERÍSTICO (NORMA ASTM C469) PARA MEZCLAS DE 350 kg/cm ²		
Autor	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	Factor (γ)
Media Aritmética	272836	14412
Montoya-Meseguer- Moran	264471	14165
Oscar Padilla	258355	14005
Saliger	204627	10809

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4.3.1.2 Módulo de Elasticidad Teórico

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA		MODULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO CARACTERÍSTICO
Autor	(kg/cm ²)	A.C.I 318 (kg/cm ²)
Resistencia Media	358.35	257440
Montoya-Meseguer-Moran	348.07	253720
Padilla	375.92	263676
Saliger	268.76	222949

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

5.4.4 Planteamiento de la ecuación Experimental del Módulo de Elasticidad del Hormigón para la región Quito DM con materiales de la mina Pintag y cemento Selvalegre

La expresión más común usada para el cálculo del módulo de elasticidad es la planteada por el comité ACI 318- 19.2.2 (b), por tanto, de esta ecuación se planteó la ecuación experimental del módulo de elasticidad.

Ecuación planteada por ACI 318 - 19.2.2 (b): $E_c = 15100\sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$

Entonces así tenemos:

$$E_c = \gamma\sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$\gamma = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}}$$

5.4.4.1 Ecuación Propuesta.

Para proponer la ecuación del módulo de elasticidad se tomó el valor arrojado según Montoya-Meseguer-Moran para mezclas de 210 y 350 kg/cm² ya que mantiene una distribución normal estadística y es el valor más cercano al

factor propuesto por el comité ACI 318, para mezclas de 280 kg/cm² se tomó el valor de la media aritmética ya que debido a la dispersión Montoya-Meseguer- Moran el valor del factor fue exageradamente menor.

5.4.4.1.1 *Cálculo de Factor (γ) para la Ecuación de Modulo de elasticidad según el ACI 318 -19.2.2 (b).*

Tabla 5.13 *Calculo de Factor (γ) para planteamiento de la Ecuación de Modulo de Elasticidad*

CALCULO DE FACTOR PARA PLANTEAR ECUACIÓN DE MODULO DE ELASTICIDAD			
AUTOR	MEZCLAS	MODULO DE ELASTICIDAD.	FACTOR (γ)
	(kg/cm2)	(kg/cm2)	
M-M-M	210	209135	14334
Media Aritmética	280	241279	14348
M-M-M	350	264471	14165
	FACTOR PROMEDIO (γ)		14282
	FACTOR ADOPTADO (γ)		14280

Fuente: (Guanopatin y Borja, 2022)

La ecuación del módulo de elasticidad para hormigones fabricados con material de la mina Pintag y cemento Selvalegre basándonos en el código ACI 318, numeral 19.2.2 (b) es:

$$E_c = 14280 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$E_c = 4471 \sqrt{f'_c} (Mpa)$$

5.4.4.1.2 *Cálculo de Factor (α) para la Ecuación de Modulo de elasticidad según el ACI 318 -19.2.2(a).*

Como el cálculo del módulo de elasticidad teórico se realizó con la ecuación $E_c = 0.1351 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$; Con el módulo de elasticidad arrojado en esta investigación se desea calcular el coeficiente α .

$$(\gamma) x \sqrt{f'_c} = \alpha W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{W_c^{1.5}}$$

$$\alpha = \frac{14280}{2163^{1.5}}$$

$$\alpha = \mathbf{0.1420}$$

Entonces la ecuación del módulo elasticidad fabricado con materiales de la mina Pintag y cemento Selvalegre basándonos en el código ACI 318-19.2.2 (a), para un peso unitario de 2163 kg/m³ (obtenido en esta investigación) se plantea a continuación:

$$E_c = \mathbf{0.1420} W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$E_c = \mathbf{0.0444} W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} (Mpa)$$

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

6.1.1 Conclusión General

- La ecuación de Modulo de Elasticidad del Hormigón para la región Quito DM utilizando agregados de la mina Pintag y Cemento Selvalegre para resistencias que varían ente 210 , 280 y 350 kg/cm² obtenido en esta investigación es:

Basándonos en el código ACI 318 – 19.2.2 (b):

$$E_c = 14280 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$E_c = 4471 \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)}$$

Basándonos en el código ACI 318 – 19.2.2 (a):

$$E_c = 0.1420 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$E_c = 0.0444 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)}$$

6.1.2 Conclusiones Específicas

- El factor del módulo de elasticidad obtenido mediante la recomendación de la norma ASTM C 469 es ligeramente menor a la ecuación propuesta por el comité ACI 318 numeral 19.2.2 (b), ya que fue un hormigón fundido con materiales de Ecuador de la mina Pintag y cemento Selvalegre específicamente; es decir que esta ecuación no es 100% aplicable en nuestro país.

- La razón por la que se obtuvo un valor menor en relación a la ecuación planteada por la norma ACI 318, se debe a los materiales con los que se fabrica el hormigón; ya que en Estados Unidos lugar de planteamiento de la ecuación de modulo elástico se utiliza agregados gruesos de gravedad especifica de 2.7 a 2.8 g/cm³ mientras que en esta investigación se usó material de Quito - Ecuador de la mina Pintag con gravedad especifica de 2.49 g/cm³, que nos indica la presencia de porosidad que existe en el material , haciendo que las propiedades mecánicas de los agregados difieran entre sí.
- La ecuación de módulo de elasticidad determinada en este trabajo de investigación podría ser utilizada para cálculo de diseño estructural, análisis de rigideces, deflexiones, derivas y demás cálculos de ingeniería, teniendo en cuenta que deberán ser obras civiles construidas con materiales de la mina Pintag y Cemento Selvalegre.
- En el análisis de calidad del agregado grueso como fino, el ensayo de material fino que pasa el tamiz N°200 es el único requisito que el material de la mina Pintag no cumple, sin embargo, no es un impedimento para que este material no sea usado para el diseño de hormigones. A continuación, la tabla 6.1 y 6.2, muestra un resumen de la caracterización del agregado grueso y fino.

Tabla 6.1 Análisis de Calidad del Agregado Grueso de la Mina Pintag - Pichincha.

Ensayo	Resultado en esta Investigación	Valor Permisible Norma INEN 872 :11	Observaciones
<i>Abrasión</i>	25.6 %	50 %	CUMPLE
<i>Granulometría</i>	(Ver Fig. 3.4)	Limites= (Ver Fig. 3.4)	CUMPLE
<i>Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas N° 200, mediante lavado</i>	8.55 %	1%	NO CUMPLE
<i>Gravedad Especifica</i>	2.49 (g/cm ³)	N/A	N/A
<i>Capacidad de Absorción</i>	3.59 %	N/A	N/A

Tabla 6.2 Análisis de Calidad del Agregado Fino de la Mina Pintag – Pichincha.

Ensayo	Resultado en esta Investigación	Valor Permisible Norma INEN 872:11	Observaciones
<i>Contenido Orgánico del agregado fino</i>	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcilla.	CUMPLE
<i>Granulometría</i>	(Ver Fig. 3.5) MF= 3	Limites= (Ver Fig. 3.5) MF= 2.3 a 3.1	CUMPLE CUMPLE
<i>Material Fino que pasa el tamiz N° 200</i>	11.47 %	5 %	NO CUMPLE
<i>Gravedad Especifica</i>	2.59 (g/cm ³)	N/A	N/A
<i>Capacidad de Absorción</i>	5.80 %	N/A	N/A

- Los ensayos realizados con el cemento Selvalegre se muestran en la siguiente tabla 6.3, concluyendo que el cemento es de buena calidad y es apto para usar en el diseño de mezclas de hormigón.

Tabla 6.3 Análisis de Calidad del Cemento Selvalegre

Ensayo	Resultado en esta Investigación	Valor Permisible Norma ASTM C 595-C595M-21	Observaciones
<i>Gravedad Especifica del cemento</i>	2.95 (g/cm ³)	N/A	N/A
<i>Tiempo de fraguado</i>	152.4 (min)	45-420 (min)	CUMPLE

- El método para el diseño de mezclas usado en este trabajo de investigación fue el ACI 211.1 (Modificado), haciendo que los especímenes alcancen resistencias que varían entre la resistencia requerida y la resistencia de diseño, lo cual es satisfactorio ya que se demostró que este método es eficiente para el diseño de mezclas de hormigones de peso normal.
- Los hormigones diseñados para la resistencia a la compresión requerida de 210 kg/cm² y resistencia a la compresión de diseño de 220.5 kg/cm², alcanzaron una resistencia característica promedio a los 28 días de 212 kg/cm² según Montoya- Meseguer- Moran.
- Los hormigones diseñados para la resistencia a la compresión requerida de 280 kg/cm² y resistencia a la compresión de diseño de 294.5 kg/cm², alcanzaron una resistencia característica promedio a los 28 días de 280.12 kg/cm² según Montoya- Meseguer- Moran.
- Los hormigones diseñados para la resistencia a la compresión requerida de 350 kg/cm² y resistencia a la compresión de diseño de 367.5 kg/cm², alcanzaron una resistencia característica promedio a los 28 días de 348.07 kg/cm² según Montoya- Meseguer- Moran; si bien este valor es inferior se debe a la desviación estándar de las resistencias arrojadas, pero se debe poner énfasis en que la resistencia

característica depende de la resistencia media y esta fue de 358.35 kg/cm².

6.2 Recomendaciones

- Se debe tener en cuenta la corrección por humedad en el diseño de mezclas de hormigón, ensayo que se realiza a las 24 horas antes de ser fabricada la mezcla ya que este valor de corrección se obtiene bajo condiciones ambientales a los que están expuestos los materiales.
- En cuanto el alcance de las resistencias a la compresión de especímenes de hormigón presentadas en esta investigación, es necesario recomendar el inmediato y continuo curado una vez secada la mezcla.
- Se recomienda realizar un control minucioso de las propiedades físicas y mecánicas de materiales provenientes de minas de la ciudad de Quito, ya que estos se emplean en la construcción de edificaciones importantes en el centro del País y son propiedades directamente proporcionales con el cálculo de módulo de elasticidad.
- Se recomienda que el uso de la ecuación planteada en esta investigación se única y exclusivamente para obras civiles en donde se utilicen materiales de la mina Pintag y cemento Selvalegre.
- Es necesario que la Pontifica Universidad Católica del Ecuador realice más investigaciones de este tipo ya que es de mucha ayuda para aquellos que se dedican a diseñar y construir en sectores de la ciudad de Quito- Ecuador.
- Se recomienda tener en cuenta que el diseño de estas mezclas y con las cuales se obtuvo el módulo de elasticidad, no fueron fabricadas con aditivos; es por eso que si se usara en un futuro esta ecuación se tome en cuenta estas variaciones.

- Es necesarios que se tenga en cuenta que la ecuación planteada es única y exclusivamente para mezclas de 210 kg/cm^2 , 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 .

ANEXOS

Anexo 1: Visita Cantera REVTON S.A. del Arquitecto Pedro Bonilla.



Anexo 2: Cuarteo Mecánico del Agregado Fino y Grueso.

Anexo 2.1 Agregado Fino



Anexo 2.2 Agregado Grueso



Anexo 3: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso.



Anexo 4: Ensayo de Gravedad Especifica del Agregado Grueso.



Anexo 5: Ensayo de Gravedad Especifica del Agregado Fino.



Anexo 6: Ensayo de Contenido Orgánico del Agregado Fino.



Anexo 7: Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso.



Anexo 8: Ensayo de Granulometría del Agregado Fino.



Anexo 9: Ensayo de Gravedad Especifica del Cemento.



Anexo 10: Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.



Anexo 11: Mezclas de Hormigón de Prueba.

Anexo 1: Prueba 1



Anexo 2: Prueba 2



Anexo 12: Fundición de Mezclas Definitivas de 210 kg/cm².



Anexo 13: Fundición de Mezclas Definitivas de 280 kg/cm².



Anexo 14: Fundición de Mezclas Definitivas de 350 kg/cm².



Anexo 15: Toma de medidas de las muestras.



Anexo 16: Ensayo de Resistencia a la Compresion.



Anexo 17: Ensayo de Resistencia a la Compresion con Modulo de Elasticidad.



Anexo 18: Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado de Agregado Grueso.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

ASTM C-29 (NTE INEN 0858:83)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 14/01/2022

PESO UNITARIO SUELTO

Datos previos		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente vacío	2569	g
Volumen del recipiente vacío	2844	cc

Masa del ripio suelto + recipiente		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Primera muestra	5980	g
Segunda muestra	6015	g
Tercera muestra	6015	g
<i>Promedio</i>	6003.33	g
<i>PESO UNITARIO SUELTO DEL AG GRUESO (Pu)</i>	1.21	g/cm ³

PESO UNITARIO COMPACTADO

Datos previos		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente vacío	2569	g
Volumen del recipiente vacío	2844	cc

Masa del ripio compactado + recipiente		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Primera muestra	6320	g
Segunda muestra	6340	g
Tercera muestra	6330	g
<i>Promedio</i>	6330.00	g
<i>PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AG GRUESO (Pu)</i>	1.32	g/cm ³

Anexo 19: Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado de Agregado Fino.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES

ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

ASTM C-29 (NTE INEN 0858:83)

ORIGEN: PINTAG

FECHA: 14/01/2022

PESO UNITARIO SUELTO

Datos previos		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente vacío	2569	g
Volumen del recipiente vacío	2844	cc

Masa de la arena suelta + recipiente		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Primera muestra	6615	g
Segunda muestra	6630	g
Tercera muestra	6630	g
Promedio	6625.00	g
PESO UNITARIO SUELTO DE LA AG FINO (Pu)	1.43	g/cm3

PESO UNITARIO COMPACTADO

Datos previos		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Masa del recipiente vacío	2569	g
Volumen del recipiente vacío	2844	cc

Masa de la arena compactada + recipiente		
	<i>V.Lab</i>	<i>Ud.</i>
Primera muestra	7125	g
Segunda muestra	7120	g
Tercera muestra	7110	g
Promedio	7118.33	g
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AG FINO (Pu)	1.60	g/cm3

Anexo 20:

Tabla 20.1 **Calculo de Resistencias para mezclas de 210 kg/cm².**

Muestra	Diámetro		Altura		Diámetro Promedio	Altura Promedio	Área	Carga Máxima	Resistencia Calculada	f'c req < f'c cal < f'c diseño
	cm	cm	cm	cm							cm^{2}	kg	kg/cm^{2}
C1	15.35	15.40	29.50	29.60	15.38	29.55	185.66	40318	217.16	SI
C2	15.00	15.00	29.70	31.00	15.00	30.35	176.71	37468	212.03	SI
C3	15.20	15.35	29.70	30.00	15.28	29.85	183.25	39913	217.80	SI
C4	15.30	15.20	30.00	29.80	15.25	29.90	182.65	39460	216.04	SI
C5	15.20	15.10	32.00	31.00	15.15	31.50	180.27	38915	215.87	SI
C6	15.20	15.25	33.00	35.00	15.23	34.00	182.06	39893	219.13	SI
C7	15.10	14.95	29.90	29.80	15.03	29.85	177.30	37987	214.25	SI
C8	15.35	15.35	29.80	29.70	15.35	29.75	185.06	40599	219.39	SI
C9	15.15	15.10	29.50	29.70	15.13	29.60	179.67	38197	212.59	SI
C10	15.45	15.40	29.70	29.90	15.43	29.80	186.87	40486	216.65	SI
C11	15.45	15.45	31.00	29.80	15.45	30.40	187.48	41280	220.19	SI
C12	15.25	15.10	33.00	34.00	15.18	33.50	180.86	39067	216.00	SI
C13	15.05	15.10	34.00	32.00	15.08	33.00	178.49	38287	214.51	SI
C14	15.30	15.35	29.70	29.80	15.33	29.75	184.46	39882	216.22	SI
C15	15.45	15.50	30.00	29.70	15.48	29.85	188.08	40123	213.33	SI
C16	15.10	15.20	30.00	29.70	15.15	29.85	180.27	39367	218.38	SI
C17	15.35	15.25	30.00	29.70	15.30	29.85	183.85	40398	219.73	SI

Tabla 20.2 Cálculo de Resistencias para mezclas de 280 kg/cm².

Muestra	Diámetro		Altura		Diámetro Promedio	Altura Promedio	Área	Carga Máxima	Resistencia Calculada	f'c req < f'c cal < f'c diseño
	cm	cm	cm	cm							cm^{2}	kg	kg/cm^{2}
D1	15.10	15.10	30.00	30.00	15.10	30.00	179.08	50889	284.17	SI
D2	15.00	14.90	30.00	29.70	14.95	29.85	175.54	49600	282.56	SI
D3	14.85	14.90	29.80	29.90	14.88	29.85	173.78	49438	284.48	SI
D4	15.70	15.80	31.00	30.00	15.75	30.50	194.83	54853	281.54	SI
D5	15.00	15.15	30.00	29.80	15.08	29.90	178.49	50195	281.22	SI
D6	15.50	15.60	29.70	29.70	15.55	29.70	189.91	53418	281.28	SI
D7	15.15	15.15	33.40	33.20	15.15	33.30	180.27	51075	283.33	SI
D8	15.20	15.35	30.00	29.80	15.28	29.90	183.25	51721	282.24	SI
D9	15.60	15.60	29.70	29.70	15.60	29.70	191.13	54075	282.91	SI
D10	15.30	15.30	30.40	30.40	15.30	30.40	183.85	51721	281.32	SI
D11	14.80	15.10	29.70	29.70	14.95	29.70	175.54	49611	282.62	SI
D12	15.25	15.30	29.80	29.50	15.28	29.65	183.25	51431	280.65	SI
D13	14.90	15.00	30.20	30.20	14.95	30.20	175.54	49855	284.01	SI
D14	14.90	14.80	30.30	30.30	14.85	30.30	173.20	49076	283.35	SI
D15	15.00	14.90	29.90	29.90	14.95	29.90	175.54	49280	280.74	SI
D16	15.35	15.30	29.80	29.80	15.33	29.80	184.46	52841	286.47	SI
D17	15.10	15.10	29.80	29.80	15.10	29.80	179.08	50725	283.26	SI

Tabla 20.3 **Calculo de Resistencias para mezclas de 350 kg/cm².**

Muestra	Diámetro		Altura		Diámetro Promedio	Altura Promedio	Área	Carga Máxima	Resistencia Calculada	f'c req < f'c cal < f'c diseño
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	kg	kg/cm ²	
J1	15.40	15.30	30.40	30.30	15.35	30.35	185.06	66822	361.09	SI
J2	15.50	15.51	29.70	30.00	15.51	29.85	188.81	66181	350.51	SI
J3	15.40	15.30	30.00	30.00	15.35	30.00	185.06	65567	354.31	SI
J4	15.50	15.40	30.00	30.00	15.45	30.00	187.48	68776	366.85	SI
J5	14.90	15.10	30.30	30.30	15.00	30.30	176.71	61898	350.27	SI
J6	14.90	14.90	30.00	30.00	14.90	30.00	174.37	63216	362.55	SI
J7	15.60	15.60	29.60	29.70	15.60	29.65	191.13	69821	365.30	SI
J8	15.30	15.30	30.50	30.50	15.30	30.50	183.85	66189	360.01	SI
J9	15.70	15.60	29.80	29.90	15.65	29.85	192.36	70097	364.40	SI
J10	15.40	15.50	30.50	30.30	15.45	30.40	187.48	68060	363.03	SI
J11	15.60	15.60	30.40	30.50	15.60	30.45	191.13	70055	366.52	SI
J12	15.70	15.50	29.70	29.50	15.60	29.60	191.13	69890	365.66	SI
J13	15.80	15.80	30.30	30.30	15.80	30.30	196.07	68687	350.32	SI
J14	15.00	15.10	30.00	30.00	15.05	30.00	177.89	62450	351.05	SI
J15	15.30	15.40	30.00	29.80	15.35	29.90	185.06	65740	355.24	SI
J16	15.20	15.20	30.20	30.10	15.20	30.15	181.46	64463	355.25	SI
J17	14.80	15.20	30.00	30.00	15.00	30.00	176.71	61925	350.42	SI

BIBLIOGRAFIA

- ACI 211. (1997). *Práctica estándar para la selección de proporciones para concreto pesado y masivo normal (ACI 211.1 -91) . Reaprobado 1997.*
- ACI 318-19. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318-19 .*
- Asmal, D., Ocaña, J., Perdomo, A., & Juan, P. (2012). *Estudio del módulo de elasticidad estatico del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'c=21,28$ MPA) fabricado con material de la mina Pintag. Figura 1, 2–3.*
- ASTM C 127. (2001). *Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica), y Absorción del Agregado Grueso.*
- ASTM C 128. (2001). *Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica), y Absorción del Agregado Fino.*
- ASTM C 131. (2001). *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Angeles.*
- ASTM C 136. (2001). *Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.*
- ASTM C 187. (1998). *Consistencia normal del cemento hidraulico.*
- ASTM C 192. (2016). *Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio.*
- ASTM C 33. (2018). *Especificación estándar para Agregados para Concreto.*
- ASTM C 39. (2001). *Método De Ensayo Estándar Para Esfuerzo De Compresión En Especímenes Cilíndricos De Concreto.*
- ASTM C 40. (1992). *Método de prueba estándar para Impurezas Orgánicas en Agregados Finos para concreto.*
- ASTM C 469. (1994). *Método Estándar de Ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Concreto en Compresión.*
- ASTM C 566. (1997). *Método de ensayo estándar para Contenido de Humedad total del agregado por secado.*

- ASTM C 702. (1993). *Reducción de las muestras de agregado a tamaño de prueba.*
- ASTM C188. (1995). *Método de ensayo estándar para densidad del Cemento Hidráulico.*
- ASTM D 1140. (2000). *Determinación de material fino que pasa el tamiz N°200.*
- ASTM D 75. (2014). *Práctica estándar para el muestreo de agregados.*
- ASTM E 74. (2018). *Prácticas estándar para calibración y verificación de instrumentos de medición de fuerza.*
- Cañas, S. (2009). Determinación del peso específico del cemento. *InfoLEg*, 01. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/85000-89999/86181/dto202-2003-32.htm>
- Forcada, I. (2016). *Características de esfuerzo-deformación del concreto.*
- Gallo, L., González, G., & Carrillo, J. (2013). *Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero φ -306 sometido a esfuerzos de compresión.* 117–133.
- García, E. (2013). *Módulo Estático de Elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f'_c = 24\text{mpa}$), fabricado con materiales de la mina Villacres, ubicada en el sector de la Península Cantón Ambato en la provincia de Tungurahua. I, 1–2.*
- González Cuevas, O. M., & Fernández Villegas, F. R. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado.* 802.
- Morales, D., Ojeda, F., Rodríguez, D., & Rosero, A. (2012). *Módulo Estático de Elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f'_c = 21$ y 28 MPa, fabricado con materiales de la mina de Guayllabamba-Pichincha y Cemento Selvalegre.* In *Экономика Региона.*
- NEC-SE-HM. (2015). *NEC-SE-HM Estructuras de hormigón armado.* <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606102841.pdf>
- NTE INEN 3124. (2017). *NTE INEN 3124 Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio.* https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1373.pdf
- Osorio, J. (2011). *¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO?*
- Romo, M. (2008). *Temas de Concreto Armado.* 335.

UMACON. (2021). *Tipos de hormigón y cemento utilizados en la construcción*.

UNACEM. (2016). *Ficha técnica del cemento Selvalegre*. <https://ferrigonz.com.ec/wp-content/uploads/2018/01/Selvalegre.pdf>