

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

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

**TEMA: “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE HORMIGONES
REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO E INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE
FIBRA ADICIONADO”.**

IAN SALEF OUEDRAOGO GUAYASAMIN

JAIME OSWALDO ZAPATA MERA

DIRECTOR: ING. LAURO LARA.

QUITO - 2014

AGRADECIMIENTOS

Como autores de la presente tesis de grado es inevitable reconocer que este trabajo arduo y lleno de dificultades, no pudo haberse realizado sin la participación de personas e instituciones que han facilitado el conocimiento y los equipos necesarios los cuales fueron necesarios para culminar esta investigación. Es por eso que nos hemos ayudado de este espacio para dar nuestros agradecimientos:

Agradecemos a nuestro Director de Tesis, Ing. Lauro Lara, quien nos ha dedicado su valioso tiempo en hacer de esta tesis un excelente trabajo.

A nuestros correctores, Ing. Juan Carlos Montero e Ing. Gustavo Yáñez.

Al laboratorio de resistencia de materiales de la PUCE dirigido por el Ing. Guillermo Realpe que nos ha ayudado con todos los equipos necesarios para hacer todos los ensayos requeridos

Al laboratorista José Quine quien nos ha brindado su experiencia para realizar los ensayos.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVO.....	13
CAPÍTULO 1: PROPIEDADES BÁSICAS DEL HORMIGÓN.....	14
1.1. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL HORMIGÓN.....	14
1.1.1. TRABAJABILIDAD.....	14
1.1.2. COMPACIDAD.....	17
1.1.3. PERMEABILIDAD.....	19
1.1.4. PESO UNITARIO.....	20
1.1.5. RESISTENCIA AL IMPACTO.....	21
1.1.6. DESGASTE POR ABRASIÓN.....	22
1.1.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	23
CAPÍTULO 2: PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	26
2.1. - ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS.....	26
2.1.1. AGREGADO FINO.....	26
2.1.2. AGREGADO GRUESO.....	28
2.1.3. - GRANULOMETRÍA.....	30
2.1.4. TAMAÑO MÁXIMO.....	33
2.1.5. MÓDULO DE FINURA.....	34
2.1.6. HUMEDAD NATURAL.....	35
2.1.7. MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200.....	36
2.1.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	37
2.1.9. ABSORCIÓN.....	39
2.1.10. PESO UNITARIO.....	39
2.1.11. ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	41
2.2. CEMENTO.....	43
2.2.1 DEFINICIÓN.....	43
2.2.2 CLASIFICACIÓN.....	43
2.3. ENSAYOS PARA CEMENTOS.....	51
2.3.1 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.....	51
2.3.2. TIEMPO DE FRAGUADO.....	52
2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO.....	53
2.3.4. FINURA DEL CEMENTO.....	54
2.3 FABRICACIÓN DE MUESTRAS DE HORMIGÓN.....	55
2.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.....	56
2.5.1. MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DEL ACI 211.....	57
2.5. DOSIFICACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.....	59
CAPÍTULO 3: MÉTODOS DE ENSAYO.....	60

3.1. FLEXIÓN DE VIGAS	60
3.2. ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.....	63
3.3. ENSAYO BRASILERO	67
3.4. ENSAYO DE IMPACTO	69
CAPÍTULO 4: FIBRAS DE VIDRIO.....	72
4.1 INTRODUCCIÓN	72
4.2. INFORMACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO:	73
4.2.1. <i>Proceso de Fabricación</i>	73
4.3. TIPOS DE FIBRAS DE VIDRIO	76
4.4. FABRICACIÓN DE UN GRC (GLASS REINFORCED CONCRETE)	80
4.5. BENEFICIOS.....	82
4.6. USOS Y APLICACIONES.....	84
4.6.1. <i>Principales Aplicaciones del hormigón reforzado con fibra de vidrio.</i>	84
CAPÍTULO 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	86
5.1. RESUMEN DE RESULTADOS, RESISTENCIA DE CILINDROS A COMPRESIÓN.....	86
5.1.1. <i>GRÁFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO, CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS.</i>	87
5.1.2. <i>GRÁFICAS DE LA VARIACION DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.</i>	90
5.2. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGAS	93
5.2.1. <i>GRÁFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACION DE ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN.</i>	94
5.2.2 <i>GRÁFICAS DE LA VARIACIÓN DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.</i>	97
5.3. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO TRACCIÓN DE CILINDROS.....	100
5.3.1. <i>GRÁFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN.</i>	101
5.3.2. <i>GRÁFICAS DE LA VARIACIÓN DE RESISTENCIAS CON LA RELACIÓN A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.</i>	104
5.4. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD	107
5.4.1 <i>GRAFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACION DE ADICCION DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS.</i>	108
5.4.2. <i>GRAFICAS DE LA VARIACION DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.</i>	111
5.5. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO DE IMPACTO	114
5.5.1. <i>GRAFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACION DE ADICCION DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS, EN EL ENSAYO DE IMPACTO.</i>	115
5.5.2. <i>GRAFICAS DE LA VARIACION DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.</i>	118
5.6. <i>GRAFICAS DE EDAD VS RESISTENCIA.</i>	121

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	124
6.1.1. <i>Compresión</i>	124
6.2.2. <i>Flexión</i>	127
6.2.3. <i>Tracción</i>	130
6.2.4. <i>Módulo de elasticidad</i>	133
6.2.5. <i>Impacto</i>	136
6.2. CONCLUSIONES	139
6.3. RECOMENDACIONES	141
7. BIBLIOGRAFIA.....	142
ANEXOS.....	144
ANEXO 1: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	145
ANEXO 2: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	146
ANEXO 3: ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS	147
ANEXO 4: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL FINO	148
ANEXO 5: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL GRUESO	149
ANEXO 6: PESO UNITARIO AGREGADO FINO	150
ANEXO 7: PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO	151
ANEXO 8: DOSIFICACIÓN ACI.....	152
<i>EJEMPLO DOSIFICACIÓN ACI</i>	155
ANEXO 9. DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN.....	158
ANEXO 10. DATOS DE LABORATORIO ENSAYO DE FLEXIÓN.....	164
ANEXO 11. DATOS DE LABORATORIO ENSAYO BRASILEIRO.....	176
ANEXO 12. DATOS DE LABORATORIO ENSAYO DE IMPACTO	188
ANEXO 13. DATOS DEL ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD.....	200

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Asentamiento vs Consistencia. Norma ASTM C143	16
Tabla 2-1Tamaño del tamiz según INEN 154	27
Tabla 2-2Tamaño del tamiz según INEN 154	29
Tabla 3-1. Tiempo máximo entre curado y ensayo según norma ASTM C39.	64
Tabla 3-2. Tabla de factor de seguridad. Según norma ASTM C39.....	66
Tabla 5-1. Datos obtenidos del ensayo a compresión. Fuente propia.....	86
Tabla 5-2. Datos del ensayo de flexión de vigas. Fuente propia.	93
Tabla 5-3. Datos obtenidos del ensayo a tracción	100
Tabla 5-4. Datos obtenidos en el ensayo de módulo de elasticidad. Fuente propia.	107
Tabla 5-5. Datos obtenidos en el ensayo de impacto. Fuente propia.	114
Tabla 5-6. Tabla edad vs resistencia para $a/c=0,585$. Fuente propia.....	121
Tabla 5-7. Tabla edad vs resistencia para $a/c=0,523$. Fuente propia	122
Tabla 5-8. Tabla edad vs resistencia para $a/c=0,435$. Fuente propia	123
Tabla 6-1. Resumen de Datos a compresión. Fuente propia.	125
Tabla 6-2. Resumen de datos para la ilustración 45. Fuente Propia.....	126
Tabla 6-3. Tabla de resumen de datos a flexión. Fuente propia.	127
Tabla 6-4. Resumen de datos para la ilustración 47. Fuente Propia.....	129
Tabla 6-5. Resumen de resultados ensayo brasilero. Fuente propia.....	130
Tabla 6-6. Resumen de datos para la ilustración 49. Fuente Propia.....	132
Tabla 6-7. Resumen de datos ensayo módulo de elasticidad. Fuente propia.	133
Tabla 6-8. Resumen de datos para la ilustración 51. Fuente Propia.....	135
Tabla 6-9. Resumen de resultados ensayo de impacto. Fuente propia.	136
Tabla 6-10. Resumen de datos para la ilustración 53. Fuente Propia.....	138

INDICE DE GRAFICAS

Ilustración 1-1 Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad según ASTM C-469.....	24
Ilustración 2-1. Granulometría bien graduada, fuente propia.....	31
Ilustración 2-2. Granulometría mal graduada, fuente propia.....	31
Ilustración 2-3. Granulometría uniforme, fuente propia.....	32
Ilustración 2-4. Granulometría discontinua, fuente propia.....	33
Ilustración 3-1. Flexión de vigas.	61
Ilustración 3-2. Muestras cilíndricas en la cámara de humedad.....	64
Ilustración 3-3. Tipos de falla. Según norma ASTM C-39.	65
Ilustración 3-4. Esquema de ensayo de impacto. Fuente ACI 544.2R-89.....	69
Ilustración 4-1. Proceso de la fabricación de la fibra de vidrio. Fuente: “La Fibra de Vidrio Vetrotex”, Alcalá de Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, s.f., pág. 5.	79
Ilustración 5-1. Porcentaje de mejora de fibra adicionada, en la relación $a/c=0,585$. Ensayo de compresión.....	87
Ilustración 5-2. Porcentaje de mejora de fibra adicionada, en la relación $a/c=0,523$. Ensayo de compresión.....	88
Ilustración 5-3. Porcentaje de mejora de fibra adicionada, en la relación $a/c=0,435$. Ensayo de compresión.....	89
Ilustración 5-4. Variación de resistencias a compresión con respecto a la relación a/c , al usar 0,05% de fibra adicionado.....	90
Ilustración 5-5. Variación de resistencias a compresión con respecto a la relación a/c , al usar 0,3% de fibra adicionado.....	91
Ilustración 5-6. Variación de resistencias a compresión con respecto a la relación a/c , al usar 0,6% de fibra adicionado.....	92
Ilustración 5-7. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,585$. Ensayo de flexión.....	94

Ilustración 5-8. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,523$. Ensayo de flexión.	95
Ilustración 5-9. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,435$. Ensayo de flexión.	96
Ilustración 5-10. Variación de resistencias a flexión con respecto a la relación a/c , al usar 0,05% de fibra adicionado.....	97
Ilustración 5-11. Variación de resistencias a flexión con respecto a la relación a/c , al usar 0,3% de fibra adicionado.....	98
Ilustración 5-12. Variación de resistencias a flexión con respecto a la relación a/c , al usar 0,6% de fibra adicionado.....	99
Ilustración 5-13. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,585$. Ensayo de tracción.	101
Ilustración 5-14. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,523$. Ensayo de tracción.	102
Ilustración 5-15. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,435$. Ensayo de tracción.	103
Ilustración 5-16. Variación de resistencias a tracción con respecto a la relación a/c , al usar 0,05% de fibra adicionado.....	104
Ilustración 5-17. Variación de resistencias a tracción con respecto a la relación a/c , al usar 0,3% de fibra adicionado.....	105
Ilustración 5-18. Variación de resistencias a tracción con respecto a la relación a/c , al usar 0,6% de fibra adicionado.....	106
Ilustración 5-19. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,585$. Ensayo de módulos elasticidad.....	108
Ilustración 5-20. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,523$. Ensayo de módulos elasticidad.....	109
Ilustración 5-21. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación $a/c=0,435$. Ensayo de módulos elasticidad.....	110
Ilustración 5-22. Variación de módulos de elasticidad con respecto a la relación a/c , al usar 0,05% de fibra adicionado.....	111

Ilustración 5-23. Variación de módulos de elasticidad con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.....	112
Ilustración 5-24. Variación de módulos de elasticidad con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.....	113
Ilustración 5-25. Variación del Porcentaje de fibra adicionado con la relación a/c=0,585. En el ensayo de impacto.....	115
Ilustración 5-26. Variación del Porcentaje de fibra adicionado con la relación a/c=0,523. En el ensayo de impacto.....	116
Ilustración 5-27. Variación del Porcentaje de fibra adicionado con la relación a/c=0,435. En el ensayo de impacto.....	117
Ilustración 5-28. Variación de resistencias a impacto con respecto a la relación a/c, al usar 0,05% de fibra adicionado.....	118
Ilustración 5-29. Variación de resistencias a impacto con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.....	119
Ilustración 5-30. Variación de resistencias a impacto con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.....	120
Ilustración 5-31. Grafico Edad vs Resistencia para la dosificación A/C=0,585.....	121
Ilustración 5-32. Grafico Edad vs Resistencia para la dosificación A/C=0,523.....	122
Ilustración 5-33. Grafico Edad vs Resistencia para la dosificación A/C=0,435.....	123
Ilustración 6-1. Grafico comparativo de las resistencias a compresión del % fibra adicionado vs % mejoramiento. Fuente propia.....	125
Ilustración 6-2. Grafico comparativo de las resistencias a compresión de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.....	126
Ilustración 6-3. Grafico comparativo de las resistencias a flexión del % fibra adicionado vs % mejoramiento. Fuente propia.....	128
Ilustración 6-4. Grafico comparativo de las resistencias a flexión de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.....	129
Ilustración 6-5. Grafico comparativo de las resistencias a tracción del % fibra adicionado vs % mejoramiento. Fuente propia.....	131
Ilustración 6-6. Grafico comparativo de las resistencias a tracción de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.....	132

Ilustración 6-7. Grafico comparativo con los módulos de elasticidad del %fibra adicionado vs %mejoramiento. Fuente propia.	134
Ilustración 6-8. Grafico comparativo los módulos de elasticidad en las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.	135
Ilustración 6-9. Grafico comparativo de las resistencias a impacto del %fibra adicionado vs %mejoramiento. Fuente propia.	137
Ilustración 6-10. Grafico comparativo de las resistencias a impacto de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.	138

INTRODUCCIÓN

Las fibras en el hormigón han sido usadas como material de construcción desde hace varios siglos, y la función de esta en el hormigón era mejorar las propiedades en las que el hormigón es relativamente débil, ya que el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. Así de una u otra manera se ha intentado disminuir la fragilidad y hacerlo más resistente a la tracción. Los ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo son ejemplos del uso de fibras como refuerzo, los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son:

- Propiedades físicas de la matriz.
- Resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz.

Las fibras están disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesor, entre los más estudiados están las fibras naturales no procesadas, fibras naturales procesadas, fibras sintéticas, fibras de vidrio, fibras de acero y sistemas múltiples de fibras.

La primera investigación sobre las fibras de vidrio fue hecha en los años 60 usando vidrio convencional de borosilicato (Vidrio E) y fibras de vidrio de sílice cal soda (vidrio A), después, con el desarrollo de la industria se ha producido un vidrio resistente al álcalis conocido como vidrio RA.

Las fibras pueden introducirse directamente en una planta de mezclado, en una amasadora de morteros o directamente en un camión de revolvedor.

Debido al desarrollo tecnológico se ha podido dar mayores cualidades y resistencias al hormigón lo cual hace que estos cada vez sean más usados en construcciones. De la misma manera debido a la incorporación en el mercado de nuevos y mejores aditivos se ha hecho posible de que el hormigón sea cada vez más resistente ante las solicitaciones requeridas.

La mala dosificación del hormigón, o el uso de agregados que no cumplan con las solicitaciones normadas por el ASTM, puede hacer que se pierda durabilidad u homogeneidad del material.

El hormigón es una de las opciones para exteriores ya que su acabado es semejante al de un material noble y además ofrece ventajas extras tales como: una buena resistencia a la abrasión, desgaste, impacto y compresión. Esto ha hecho que sea muy usado en la construcción de pistas deportivas, ciclo rutas o en lugares con afluencia de tráfico como son los parqueaderos y veredas.

Las fibras de vidrio usadas en el hormigón pueden llegar a ser muy útiles para el control del agrietamiento que se produce por contracción plástica; pero en ningún caso puede reemplazar a los elementos estructurales en el hormigón como son las mallas de electrosoldadas y las barras de acero.

Las ventajas de la fibra de vidrio (según OCV Reinforcements) son:

- Control y prevenciones de fisuración en hormigones y morteros frescos y endurecidos.
- Mejora global de la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón
- Mejora de las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.
- Excelente trabajabilidad
- Permite altas dosificaciones sin afectar la trabajabilidad
- Completamente invisible en la superficie terminada
- No se corroe
- Mezcla homogénea
- No se requiere agua adicional
- Seguro y fácil de manejar

OBJETIVO

Este trabajo tiene como objetivo hacer un estudio del comportamiento del hormigón con fibras de vidrio en las propiedades más importantes y estudiar la influencia del adicionamiento de fibra en diferentes porcentajes.

La fibra de vidrio a diferencia de las fibras de carbono, es usado en el hormigón como un material de mejoramiento y por ende esta tesis tiene como objetivos específicos:

- Analizar y estudiar el comportamiento mecánico de las fibras de vidrio
- Determinar la eficiencia de distintas dosificaciones de fibra de vidrio empleadas en el mejoramiento del hormigón
- Comparación del comportamiento mecánico del hormigón simple con el hormigón mejorado con fibras de vidrio

CAPITULO 1: PROPIEDADES BÁSICAS DEL HORMIGÓN

1.1. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL HORMIGÓN

El hormigón se diseña con el propósito de obtener una mezcla que posea determinadas propiedades en estado fresco, endurecido y que el costo sea el menor posible.

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en el coexisten tres fases: la sólida (áridos y cemento), líquida (agua) y gaseosa (aire atrapado). A su vez la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus partículas son de naturaleza y dimensiones variables.

Las propiedades del hormigón dependen también de las propiedades de los agregados, el cemento y el agua que se va a usar, y la elección de estos materiales deben ser elegidos de tal manera que cumpla los requisitos básicos del hormigón, estos son:

1.1.1. TRABAJABILIDAD

También conocida como manejabilidad, esta propiedad es propia del hormigón en estado fresco y se considera como la mayor o menor facilidad de mezclado, transportado, consolidado y terminado en obra, con una mínima pérdida de homogeneidad.

Esta propiedad es muy importante ya que una baja trabajabilidad puede tener como consecuencia problemas de mezclado y problemas de homogeneidad, lo que implica la disminución de la resistencia.

Las diferentes clases de trabajo requieren diversos grados de manejabilidad y la forma, ancho y peralte de las secciones, así como los espacios libres entre el refuerzo, son todos ellos factores determinantes en el grado de trabajabilidad requerido. Podría parecer que, variando la cantidad de agua en la mezcla, se obtendría fácilmente cualquier consistencia deseada, pero en el pasado, con este procedimiento se ha

obtenido a menudo una mezcla con exceso de agua, la cual, al endurecerse producía un concreto poroso de menor resistencia que la deseada. Debido a innumerables pruebas y experiencias reales, se ha encontrado que la cantidad de agua en relación con la de cemento y que, habiéndose establecido esta relación, el grado de plasticidad se obtiene mejor ajustando las proporciones de la pasta de agua y cemento con los agregados.

La manejabilidad tiene sub propiedades que son la consistencia y la docilidad.

1.1.1.1. Consistencia.

Es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse por acción de su propio peso.

Se mide en función del asentamiento en el cono de abrams (Norma ASTM C143) y consiste en colocar la mezcla de hormigón en un molde de figura cónica truncada conocido como cono Fuller-Abrams, la cual tiene 30 cm de altura con una base de 20cm y un diámetro superior de 10cm, se coloca el hormigón en 3 capas compactadas con 25 golpes usando una varilla de 1.6cm de diámetro y 60 cm de longitud, luego de compactar la última capa se enrasa y se retira el mole, se mide el asentamiento producido desde el centro de la muestra hasta el borde del molde.

Con una muestra bien proporcionada y manejable se asentará con lentitud y conservará la forma cónica; de modo contrario se desmoronará y despedazará si no ha sido bien proporcionada. El asentamiento de la muestra será mayor mientras la pasta cementante sea mayor, mientras se proporcionen adecuadamente las cantidades de agregados, incluyendo aire o aumentando un aditivo que reduzca la cantidad de agua necesaria, tomando en cuenta que estos cambios afectarán otras propiedades del hormigón en forma perjudicial o en forma positiva.

Consistencia	asentamiento
Seca	0 - 2
semi seca	3 a 5
Plástica	6 a 9
Colada	10 a 15
Fluida	más de 15

Tabla 1-1. Asentamiento vs Consistencia. Norma ASTM C143

1.1.1.2. Docilidad:

A esto se define como la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón para acomodarse o desplazarse bajo la acción de agentes externos tales como son el vibrado y el varillado.

La docilidad se mide usando el ensayo de penetración en el hormigón fresco (Norma ASTM C360), y consiste en medir la penetración de una bola de acero conocido como la bola de Kelly en el hormigón fresco.

Para hacer este ensayo se toma una muestra de hormigón fresco y se enraza su superficie, se baja la bola de Kelly hasta la superficie y en seguida se suelta hasta que esta deje de penetrar para poder medir la penetración, este procedimiento se lo repite varias veces en diferentes partes de la muestra.

Se pretende llegar a tener un buen resultado con las siguientes condiciones:

- Que la consistencia del hormigón no sea muy fluida, que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura y que posea el menor contenido de agua que sea posible, inclusive utilizando aditivos reductores de agua si es necesario.

- Usar agregados de buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica en especial con un contenido de finos que cumpla con las especificaciones, es decir que tengan una buena calidad.
- Ensayar el uso de un aditivo inclusor de aire, particularmente cuando sea factible cumplir con la medida anterior.
- Incrementar el consumo unitario de cemento y/o utilizar un cemento de menor finura.

1.1.1.3. Lechosidad.

Cuando se utiliza agua en exceso, al curar el concreto, en la superficie de la masa se forma una capa lechosa compuesta de cemento y agregado fino; esto se denomina lechosidad. Al evaporarse el exceso de agua., la capa se torna débil, porosa y se desintegra fácilmente, permitiendo el paso del agua a presión ligera. Quitar esta capa antes de colocar más concreto no presenta ningún beneficio, ya que debajo de ella quedan varios centímetros más de concreto de calidad inferior, aunque es muy posible que el concreto del fondo de la sección sea duro y denso. Si se detecta la presencia de lechosidad en donde se desea un concreto durable y fuerte, debe eliminarse el defecto quitando varios centímetros del concreto que está debajo de la superficie. Por lo tanto, para evitar la lechosidad, úsese solamente la consistencia y la relación agua-cemento adecuada.

1.1.2. COMPACIDAD

Existe una relación directa entre compacidad del hormigón y su resistencia mecánica, La compacidad es la relación entre el volumen real de los componentes del hormigón y el volumen aparente del hormigón.

Una buena compacidad aumenta la resistencia física y química frente a las acciones agresivas del medio ambiente, ya que al poseer una mínima porosidad disminuye la posibilidad de que agentes externos ingresen al hormigón

$$C = V_r / V_a \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

$$C = 1 - (a / 100) \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

C= compacidad

V_r= Volumen real

V_a= Volumen aparente

a=cantidad de agua

La compacidad depende del método de consolidación que se utilice, ya sea este vibrado manual o vibrado mecánico.

En general, al ser un pseudosólido es prácticamente imposible obtener un hormigón completamente compacto. Con dosificaciones adecuadas y una compactación idónea debería llegarse a compacidades del 97-98%. La compacidad normalmente gira en torno al 90%. La compacidad está muy ligada al peso específico. Además, incide directamente en:

- la resistencia.
- La durabilidad.
- La impermeabilidad.

1.1.3. PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la menor o mayor facilidad que presenta el hormigón endurecido al paso del agua a través del mismo. Esta propiedad puede ser muy importante, por ejemplo, en el caso de las estructuras hidráulicas la permeabilidad es más importante que la resistencia del concreto.

Existen dos formas en las que el agua puede penetrar en el hormigón que son por capilaridad y por presión. Los factores que influyen en la permeabilidad son la manejabilidad, la relación agua/cemento (resistencia). La más influyente quizás es la última, al disminuir esta disminuye también la permeabilidad.

Medir la permeabilidad es un problema difícil que no se encuentra resuelto satisfactoriamente. Existen varios métodos unos dedicados a la permeabilidad bajo presión y otros por succión (absorción). Las medidas se efectúan por diferencia de peso o por el tiempo requerido para que el agua atravesase de una cara a otra, o por medición de superficie de mancha en una sección obtenida por corte, etc. Pero ningún método proporciona garantía completa, siendo incierta la concordancia entre medidas realizadas según distintos métodos sobre un mismo hormigón.

Para que una estructura de hormigón sea impermeable, se debe considerar lo siguiente:

- Reducción de la cantidad de agua de mezcla, debido a que el exceso de agua produce vacíos y cavidades después de la evaporación.
- Dosificación y curado adecuado.
- Inclusión de aire, ya que los hormigones aireados son mas impermeables y menos absorbentes por capilaridad debido al efecto de las burbujas de aire interceptando a los capilares.
- Baja relación agua cemento, no mayor que 0.5 del peso.
- Trabajabilidad apropiada para evitar las mezclas tan ásperas y rígidas que dan por resultado paneles de abeja y aquellas tan fluidas que producen lechosidad
- Mezclado completo, al menos que se encuentren en la concreteira o hasta que la mezcla sea uniforme.

- Colado adecuado, correcto vibrado para llenar todas las esquinas y ángulos de todo el encofrado sin segregación de los materiales (separación de los áridos gruesos y finos)
- Que las pastas que contienen cementos de hidratación lenta son más permeables que los cementos de rápida hidratación, por tal razón es importante también la finura del cemento ya que la impermeabilidad disminuye al aumentar la finura.

Todo lo dicho en cuanto a la permeabilidad del agua, puede aplicarse igualmente a la permeabilidad del aire, característica que interesa en hormigones para protección contra radiaciones nucleares.

1.1.4. PESO UNITARIO

El peso unitario del hormigón es la relación de la masa de una muestra sobre el volumen que ocupa.

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico (kg/m³). La variación del peso unitario repercute en la consistencia, indica una alteración de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado, por lo tanto debe dar origen a las correcciones oportunas.

Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m³. Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m³, a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m³, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

1.1.5. RESISTENCIA AL IMPACTO

El hormigón en una estructura puede estar sometida ante varios tipos de carga tales como: cargas sísmicas, cargas de viento, cargas de servicio y muchas más. Entre todas estas en ciertas estructuras se debe tomar en cuenta una carga adicional “instantánea” o de impacto ya que esta puede causar graves daños en las estructuras de hormigón, porque el hormigón es un material que presenta propiedades pobres para la dispersión de energía cinética, ya que una estructura o material considerado como un buen disipador de energía cinética es el que permite la deformación para que este se genere en el choque, ya sea en forma de calor, desprendimiento molecular, ruido, etc. Este tipo de cargas puede presentarse por varias causas tales como los sismos (choque de estructuras), caída de objetos significativos, choques de vehículos, etc. estas causan vibraciones y por ende una carga instantánea significativa.

Las cargas de impacto son iguales a la diferencia de magnitud de las cargas realmente generadas y la magnitud de las cargas consideradas como muertas. La carga de impacto que se presenta con mayor frecuencia en las estructuras son la de los vehículos, ya que en obras estructurales como estacionamientos y edificios cerca de calles, o en obras viales como carreteras, vías, puentes, túneles, pasos a desnivel, taludes artificiales, los vehículos no provocan cargas dinámicas de manera gradual sino lo provocan de manera violenta la cual produce incrementos notables en las fuerzas internas de la estructura.

En el diseño de estructuras se toma en cuenta las cargas de impacto como un porcentaje adicionado, la cual fue obtenido de expresiones empíricas. Entre las fórmulas para estimar el impacto una de las más usadas en el Ecuador es el de la AASHTO el cual es:

$$I = 50 / (L+125) \quad \text{ó} \quad 15,24/(L+38) \quad (\text{Ecuación 1.3 y 1.4})$$

Dónde:

I = Porcentaje de impacto (%)

L= Longitud del claro (m)

El porcentaje que se va a usar no tiene la necesidad de ser mayor al 30% independientemente del valor obtenido. Entre las especificaciones ACI se establece que al menos que se indique lo contrario las cargas vivas deben incrementarse en un cierto porcentaje. Entre ellos tenemos:

- 100% para elevadores
- 33% para colgantes de soporte de piso y balcones
- 50% o más para maquinaria de movimiento alternativo o unidades de potencia
- 20% para soportes de maquinaria ligera
- 25% para tabes de grúas deslizantes con cabina de operación y conexiones
- 10% para tabes de grúas deslizantes sin cabina de operación, ni conexiones

1.1.6. DESGASTE POR ABRASIÓN

El hormigón al ser un material constitutivo por varios materiales, a la vez unidos por un aglomerante, tiende a regresar a su forma original, es por eso que si el hormigón está sometido a agentes externos, este puede hacer que el hormigón se resquebraje y se desgaste.

En ciertos casos, como sucede en los pavimentos de carretera o interiores de construcciones industriales, interesa que el hormigón presente gran resistencia al desgaste. Para conseguirlo la primera condición es emplear un hormigón seco, ya que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastable y productor de polvo.

El hormigón está expuesto a una abrasión constante, sea esta por efectos ambientales (viento, agua, tierra), por el tiempo de servicio (capa de rodadura) u otro, lo que hace que este pierda poco a poco las propiedades que le pertenecen y hasta puede hacer que algunas estructuras lleguen inclusive al colapso.

La variación de temperatura es un factor importante tanto en el fraguado del hormigón, como en su vida útil puede sufrir una elevación o descenso de temperatura. Estas variaciones de temperatura pueden provocar que el elemento se contraiga o se dilate, la cual puede provocar micro grietas que dejan el paso de agentes ambientales hacia el acero de refuerzo, provocando la corrosión de este, de la misma manera al disminuir la temperatura puede provocar que el elemento se aglomere, lo cual provoca una mayor fragilidad en la misma, estas se reflejan en sus propiedades mecánicas como es la resistencia a la fluencia, al flujo plástico y resistencia final, en ocasiones, las irregularidades en su comportamiento le ocasionan los cambios estructurales (transformaciones polimórficas). Si el hormigón es poroso, muestra un efecto especial a baja temperatura: congelación o deshielo, al contener agua en sus porosidades.

Cuando el agua presente en los poros, tiene una temperatura de (32°F o menos) se transforma en hielo, el volumen de este aumenta y la expansión de la misma provoca un agrietamiento en el concreto, es por eso que los ciclos de congelación van debilitando al concreto con el paso del tiempo.

1.1.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga aplicada sobre el mismo.

Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke.

El concreto no es un material eminentemente dúctil, esto se puede observar fácilmente si se somete a un espécimen a esfuerzos de compresión crecientes hasta llevarlo a la falla, si para cada nivel de esfuerzo se registra la deformación unitaria del material, se podría dibujar la curva que relaciona estos parámetros, la Figura muestra la curva esfuerzo-deformación.

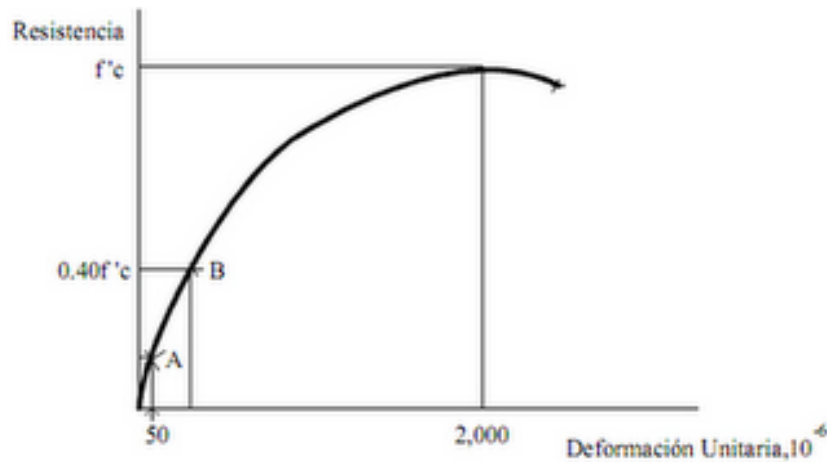


Ilustración 1-1 Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad. Fuente ASTM C-469.

De la Figura 1, y de acuerdo a la norma ASTM C-469, el módulo de elasticidad (E_c) se obtiene calculando la pendiente del segmento de recta que pasa por los puntos A y B, para lo cual es necesario obtener del trazo de la curva (o en el transcurso de la prueba) la ordenada correspondiente a las 50 micro deformaciones y la abscisa correspondiente al esfuerzo $0.40f'c$. De la figura se observa también que la deformación que corresponde a la resistencia del concreto es 0.002 cm/cm, que corresponde a 2,000 micro deformaciones. Aún después de que el concreto alcanza su resistencia máxima, y si la carga se sostiene (el esfuerzo disminuye) hasta lograr la falla total (el concreto truena), se puede medir la deformación última que soporta el material, ésta deformación es de 0.035 cm/cm.

Las razones principales por las que es importante conocer el modulo de elasticidad del hormigón son las siguientes:

1. Uno de los valores más importantes en el diseño de concreto reforzado es el módulo de elasticidad, puesto que este influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura.
2. El módulo de elasticidad del concreto está determinado por una estrecha relación que existe entre el esfuerzo que experimenta un material y la correspondiente deformación unitaria. Es un valor muy importante para el análisis estructural.
3. Tener un buen conocimiento del módulo de elasticidad del concreto bajo condiciones de carga lenta podría emplearse en futuras investigaciones acerca del módulo de elasticidad dinámico de concreto (es decir bajo cargas rápidas) lo anterior sería importante para conocer el comportamiento real del concreto bajo la acción de un sismo.
4. Con el dato del módulo de elasticidad podemos conocer el acortamiento por carga axial de un elemento estructural.
5. El uso masivo de concreto como principal material de construcción hacen indispensable conocer todas sus propiedades mecánicas para tener unos diseños acertados de los proyectos de construcción.
6. Un aspecto importante del análisis y diseño de estructuras, se relaciona con las deformaciones que causan las cargas aplicadas a la estructura. Obviamente es importante evitar las deformaciones grandes que puedan impedir que la estructura cumpla con el propósito para el cual se concibió, pero el análisis de deformaciones puede ayudarnos también para el cálculo de los esfuerzos.

CAPITULO 2: PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1. - ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS

Antiguamente se decía que los agregados eran elementos inertes dentro del concreto, ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas, la tecnología moderna establece que siendo este material el que mayor porcentaje de participación tendrá dentro del hormigón, sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del mismo.

La influencia de los agregados en las propiedades del concreto tiene efectos importantes no sólo en el acabado y calidad final del material sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del hormigón endurecido.

2.1.1. AGREGADO FINO

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado, y por lo tanto es preferible en las mezclas de hormigón.

El agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso debido a que tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

Una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de agua en el concreto, más que por el acomodamiento físico.

En base a la experiencia se dice que las arenas con un módulo de finura inferior a 2.5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Se conoce como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa por el tamiz #4 es decir aquel que tiene una abertura de 4,76mm o 4 aberturas por pulgada lineal. Los tamices usados para el agregado fino son los siguientes:

TAMIZ (pulgadas)	4	8	16	30	50	100
MILIMETROS	4,76	2,36	1,19	0,595	0,297	0,142

Tabla 2-1 Tamaño del tamiz según INEN 154

Especificaciones de los ensayos para el agregado fino según INEN 2011.

- NTE INEN 0866:2011 ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN LA RESISTENCIA DE MORTEROS.
- NTE INEN 0698:2010 ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES.
- NTE INEN 0862:2011 ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD.
- NTE INEN 0872:2011 ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS.
- NTE INEN 0696:2011 ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO

- NTE INEN 0856:2010 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.
- NTE INEN 0858:2010 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.
- NTE INEN 0697:2010 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75 MM (NO. 200), MEDIANTE LAVADO.
- NTE INEN 0855:2010 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN.

2.1.2. AGREGADO GRUESO

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la fabricación de estructuras de hormigón. La resistencia de los agregados depende directamente de la calidad de la roca.

El agregado grueso incrementa la resistencia debido a las fuerzas de adherencia, estas dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados.

Los agregados gruesos de procedencia natural pueden tener partículas tan pequeñas que pueden ser consideradas como agregado fino.

Los tamices usados para el agregado grueso son los siguientes:

TAMIZ (pulgadas)	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	#4
MILIMETROS	50,8	38,1	25,4	19,0	12,7	9,51	4,76

Tabla 2-2 Tamaño del tamiz según INEN 154

Especificaciones de los ensayos para el agregado grueso según INEN 2011.

- NTE INEN 0857:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.
- NTE INEN 0696:2011 Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso
- NTE INEN 0698:2010 Áridos para hormigón. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.
- NTE INEN 0862:2011 Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.
- NTE INEN 0872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos.
- NTE INEN 0858:2010 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos
- NTE INEN 0861:2011 Áridos. Determinación del valor de la abrasión del árido grueso de partículas mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles
- NTE INEN 0860:2011 Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles

2.1.3. - GRANULOMETRÍA

En hormigones estructurales convencionales los agregados (arena, grava, roca triturada o escoria) ocupan aproximadamente las tres cuartas partes es decir alrededor del 70% a 80% del volumen total de la masa endurecida.

Para que la mezcla del hormigón sea más sólida, resistente a la intemperie y duradero se debe colocar los agregados con una alta densidad y además deben ser de buena calidad. Por esta razón, es de fundamental importancia que los agregados tengan una buena granulometría, con la finalidad de obtener la máxima homogeneidad y compacidad en el concreto. Para lograr esto también es importante que posea una alta durabilidad, resistencia a la intemperie, que su superficie se encuentre libre de impurezas, tales como: limos, arcillas y materiales orgánicos, ya que estas afectan la unión con la pasta del cemento y pueden producir reacciones químicas desfavorables.

El objetivo de lograr una buena granulometría es eliminar la mayor cantidad posible de vacíos en el agregado, y por consecuencia en la mezcla, lo cual es necesario para poder producir un hormigón de la resistencia requerida. El método de ensayo se encuentra descrito en la norma ASTM C136.

Se denomina granulometría óptima a la que, para una misma consistencia y relación agua /cemento, le corresponde un consumo mínimo de cemento, dando, además, el mínimo de segregación.

2.1.3.1. TIPOS DE GRANULOMETRÍA

Granulometría bien graduada. – es cuando el tamaño de las partículas de un agregado varia uniformemente desde el más grande al más pequeño. Este tipo de granulometría es la más adecuada para la elaboración de hormigones por su tamaño variable, esto hace que las partículas tengan una mejor distribución al ocupar mayor espacio.

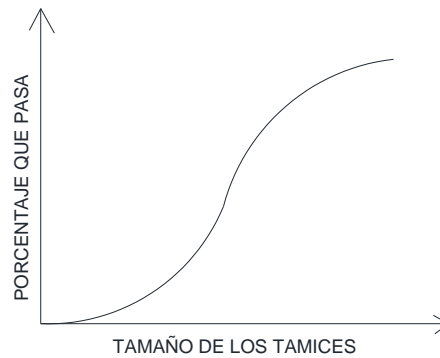


Ilustración 2-1. Granulometría bien graduada, fuente propia.

Granulometría mal graduada. – es cuando el tamaño de las partículas de un agregado no varía uniformemente. No es aconsejable usar en hormigones ya que al tener una discontinuidad de tamaños se genera mayor cantidad de vacíos.

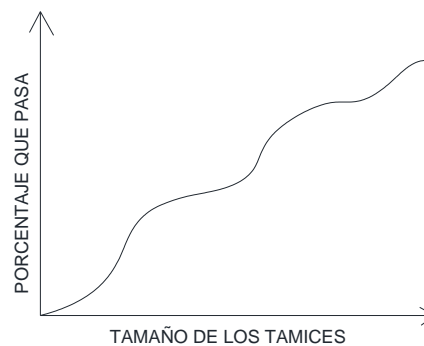


Ilustración 2-2. Granulometría mal graduada, fuente propia.

Granulometría uniforme. – es cuando las partículas del agregado varían muy poco con respecto a su tamaño, es decir son muy similares, por esta razón es muy poco recomendada para la elaboración de hormigones ya que se generan una gran cantidad de espacios vacíos.

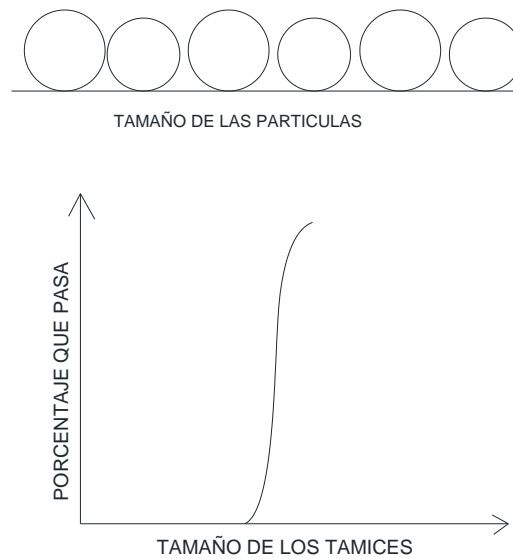


Ilustración 2-3. Granulometría uniforme, fuente propia.

Granulometría discontinua. – sucede cuando al realizar la curva granulométrica encontramos cortes discontinuos, esto quiere decir que hay ausencia de partículas de un determinado tamaño.

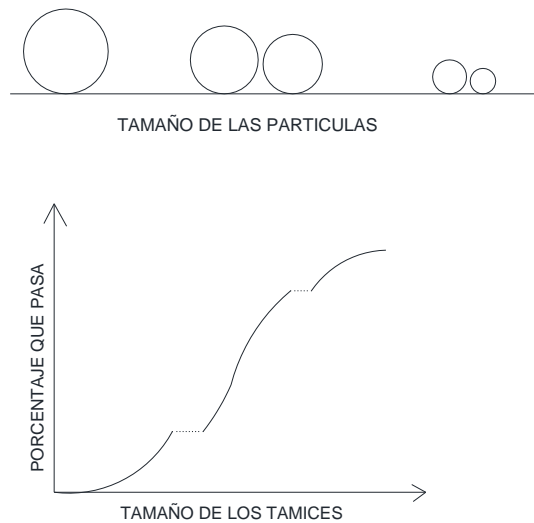


Ilustración 2-4. Granulometría discontinua, fuente propia.

2.1.4. TAMAÑO MÁXIMO

Según la Norma del MOP el tamaño máximo nominal se define como la abertura o número del tamiz donde se retiene el 5% o menos del material.

Según la Norma ASTM tamaño máximo nominal es la abertura del tamiz en la serie inmediatamente superior al que retiene el 10% o más.

Además existe una definición por Tamaño máximo que es la abertura del tamiz más pequeño de la serie en la que pasa el 100% de la muestra.

La definición de tamaño máximo se vuelve importante al seleccionar proporciones para el hormigón que resulten coherentes con los requisitos de agua para la mezcla, dimensiones del encofrado y espaciamiento entre los aceros de refuerzo.

Lo importante en cuanto a la granulometría es la gradación de la mezcla, por lo que puede darse el caso de agregados que individualmente no entran dentro de los límites, y que sin embargo mezclándolos en las proporciones adecuadas, suministran una

distribución de partículas eficiente. La Norma ASTM C33 indica que se podrán emplear agregados que no cumplan los requerimientos, si se demuestra que con ellos se obtienen hormigones que satisfacen las especificaciones técnicas del proyecto.

Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituration), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto.

2.1.5. MÓDULO DE FINURA

Es un indicador de la finura de un agregado: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Para no tener que recalcular la dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de ± 0.2 .

Matemáticamente es la relación entre la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en la serie de Tyler dividido por cien. Según las Normas INEN y ASTM, para la fabricación del hormigón el módulo de finura debe variar entre 2,3 y 3,1 (para el agregado fino).

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

Serie de Tyler

(Ecuación 2.1)

El módulo de finura es igual al área sobre la curva granulométrica hasta el número 100 y en el caso de tener una granulometría discontinua se obtendrá calculando el área en la porción de curva donde es continua.

El módulo de finura es útil para para detectar con facilidad los cambios que pueda sufrir una determinada arena debido a variaciones en la explotación y/o manejo; sin embargo para comparar arenas de distintos orígenes puede conducir a errores y no sustituye, desde luego, la información que brindan curvas granulométricas completas.

2.1.6. HUMEDAD NATURAL

Es la humedad presente en todo material, que se produce debido a los efectos de la naturaleza o por cambios de temperatura. Los agregados suelen retener algunas cantidades de agua en forma de humedad, esta se considera como la diferencia en peso entre el material húmedo y el mismo secado al horno, se suele expresar en porcentaje del peso, referido al material seco

El contenido de humedad se utiliza conjuntamente con el porcentaje de absorción para realizar los cálculos de la dosificación del hormigón.

En los agregados, la humedad puede hallarse de dos maneras, una dentro de los poros y microporos internos de los granos, y la otra adicionalmente a la anterior como una capa o película envolvente, más o menos gruesa. El agua interna de los granos no pasa al concreto como agua de mezclado, al contrario cuando los agregados están muy secos

pueden absorber parte del agua de la mezcla; el agua externa de los granos pasa a formar parte de la mezcla alterando sus proporciones.

2.1.7. MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200

Todo material fino que pasa el tamiz #200 son humus y arcillas, estos materiales son perjudiciales para el hormigón ya que hacen que se produzcan agrietamientos, quitándole consistencia al hormigón, pero también puede ser beneficioso como relleno y unión ya que produce adherencia entre los agregados.

La norma INEN establece las siguientes disposiciones generales:

- El material más fino que 75 μm , puede ser separado de las partículas más grandes, completamente y con mayor eficiencia, mediante tamizado húmedo, antes que con la utilización del tamizado en seco; por lo tanto, cuando se desea determinar con precisión el material más fino que 75 μm en una muestra de árido fino o grueso, se debe utilizar este método de ensayo previo al tamizado en seco descrito en la NTE INEN 696. El resultado de este método de ensayo está incluido en los cálculos e informe de dicha norma en el que se debe reportar la cantidad total del material más fino que 75 μm por lavado, además de la que se obtiene por tamizado en seco con la misma muestra. Por lo general, la cantidad adicional de material más fino que 75 μm , que se obtiene en el proceso de tamizado en seco, es pequeña. Si esta diferencia es grande, se debe revisar la eficiencia de la operación de lavado, esto puede ser un indicio de la degradación de los áridos.
- Las partículas de arcilla y otras del árido que son dispersadas por el agua de lavado, así como los materiales solubles en agua, son removidos del árido durante el ensayo.
- En la mayoría de los áridos, el agua potable es adecuada para separar el material más fino que 75 μm del material más grueso. En algunos casos, el material más fino está adherido a las partículas más grandes, ya sea, como un

recubrimiento de arcilla o recubrimientos en los áridos que se han extraído de las mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino puede ser separado más fácilmente con un agente dispersor en el agua.

En la Norma INEN 697 se establece que el material que pasa el tamiz #200 debe oscilar entre el 3% y el 5% del total de la muestra para agregados finos. Y además para porcentaje máximo de material grueso que pasa el tamiz #200 se permite hasta el 1% para hormigón de cualquier tipo.

2.1.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA

Los agregados en general poseen características físicas tales como: compacidad, homogeneidad, impermeabilidad, gravedad específica, densidad, durabilidad, etc., y propiedades químicas como desgaste de diversos agentes atmosféricos, composición y durabilidad.

En la composición de los agregados se encuentran diferentes tipos de minerales, entre los cuales se tiene:

Principales: son aquellos que le dan a la roca la constitución que caracteriza a los diferentes tipos.

Secundarios: dan origen a diferentes variedades dentro de un mismo tipo ya que se presentan de una manera accidental en la roca.

La gravedad específica es la relación entre la masa de una unidad de volumen de un material y la masa del mismo volumen de agua a una temperatura indicada, siendo este un valor adimensional.

Gravedad Específica Bulk

Corresponde a la relación entre la masa seca y el volumen Bulk que es el volumen propio de la muestra multiplicado por la densidad del agua. Se define con la siguiente expresión:

(Ecuación 2.2)

$$Ge = \frac{\textit{Masa seca}}{\textit{Volumen bulk * densidad agua}}$$

Donde,

Ge= gravedad especifica Bulk

Gravedad específica saturada con superficie seca.

Es la relación entre la masa de la muestra saturada con superficie seca, y el volumen Bulk con la densidad del agua.

(Ecuación 2.3)

$$Ges = \frac{\textit{Msss}}{\textit{Volumen bulk * densidad agua}}$$

Donde,

Ges= gravedad especifica saturada con superficie seca.

Msss= masa de la muestra saturada con superficie seca.

Gravedad Específica Aparente

Se define como la relación de la masa de sólidos y el volumen de sólidos por la densidad del agua.

(Ecuación 2.4)

$$Gea = \frac{Ms}{Volumen\ solidos * densidad\ agua}$$

Donde,

Gea= gravedad especifica aparente.

Ms= masa de la muestra seca

2.1.9. ABSORCIÓN

Es el aumento en el peso de los agregados debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresada como un porcentaje del peso seco.

La absorción de los agregados se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masa se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

2.1.10. PESO UNITARIO

El peso unitario de los agregados en la dosificación sirve para calcular las cantidades de diferentes materiales, cuando estos son mezclados al volumen. Este se lo calcula pesando el agregado requerido para llenar un recipiente de volumen conocido bajo condiciones específicas de compactación o contenido de humedad, como son suelta o compacta, y seca o húmeda. Aunque puede realizarse el ensayo sobre agregado fino y agregado grueso; el valor que es empleado en la práctica como parámetro para la dosificación de hormigones, es el peso unitario compactado del agregado grueso en estado seco, esto de acuerdo al método ACI 211.1.

Peso Unitario Suelto

Se define como la relación entre la masa y el volumen del material, el resultado de esta relación es la densidad del material. Para determinarla se coloca el material dejándolo caer suavemente en el recipiente a una altura de aproximadamente 5cm desde el borde del recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras con una varilla en el caso del agregado fino y con la mano para el grueso.

Este concepto es importante cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto. Se usara invariablemente para la conversión de peso a volumen, es decir para conocer el consumo de áridos por metro cubico de hormigón.

$$P_{us} = \frac{M_s}{V} \text{ (Ecuación 2.5)}$$

Donde,

P_{us}= peso unitario suelto

M_s= masa de la muestra suelta

V= volumen del recipiente que contiene el material.

Peso Unitario Compactado

Es la relación entre la masa compactada y el volumen del material, este resultado es mayor que el del peso unitario suelto.

El Peso unitario compactado es importante desde el punto de vista de dosificación de mezclas, ya que con él se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación del hormigón. Este valor se usará para el conocimiento

de volúmenes de materiales apilados y que estén sujetos a acomodamiento o asentamiento provocados por el tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo. También es de una utilidad extraordinaria para el cálculo de por ciento de vacíos de los materiales.

$$P_{uc} = \frac{M_c}{V} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde,

P_{uc} = peso unitario compactado

M_s = masa de la muestra compactada

V = volumen del recipiente que contiene el material.

2.1.11. ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Se conoce como abrasión al porcentaje en peso de los áridos que por efecto de la acción abrasiva pasa a través de un tamiz con menor abertura a la que originalmente retenía el mismo tamiz. Primero se debe determinar la carga de abrasión que provocara el desgaste del agregado grueso en la máquina de los Ángeles. La máquina está conformada por un cilindro hueco de acero, que gira sobre su propio eje a una velocidad predeterminada para cada tipo de agregado grueso, y que para simular el desgaste se añaden un cierto número de esferas de acero de 47,6 mm de diámetro con una masa entre 390 y 445 gr cada una, que se determinan en base a la gradación del material y tablas. Este ensayo sirve para determinar la resistencia al desgaste de piedras, escorias, gravas, etc.

En la máquina de los Ángeles las cargas abrasivas tienen el efecto de desgastar los agregados gruesos y así simular las condiciones de desgaste a las que está sometido el material.

Los datos obtenidos en este ensayo nos sirve para hacer comparaciones con los agregados y además tener una idea general de cuál será el desgaste, aunque en la vida real un agregado nunca estará sometido a condiciones tan severas como las del ensayo de la máquina de los Ángeles.

El porcentaje de abrasión es importante para realizar las dosificaciones de hormigones ya que se relaciona con la deformación unitaria y el módulo de elasticidad del hormigón.

(Ecuación 2.7)

$$\%Desgaste = \frac{M_{12}}{M_m} * 100$$

Donde,

M₁₂= masa del material que pasa el tamiz #12

M_m= masa inicial de la muestra

Según la Norma ASTM C33 el porcentaje de material que pasa el tamiz No. 12 después del ensayo de abrasión deberá ser menor al 50%, esto para agregados que van a usarse en la fabricación del hormigón.

2.2. CEMENTO

2.2.1 DEFINICIÓN

Se conoce como cementos al conglomerante hidráulico o aquel material que posea propiedades de adhesión y cohesión, que al ser convenientemente amasados con agua generan el proceso químico llamado hidratación. Forman pastas que fraguan y endurecen dando lugar a productos sólidos mecánicamente resistentes y con una durabilidad adecuada.

El cemento es un material que resulta de la combinación de arcilla molida con materiales calcáreos de polvo, en tanto, una vez que entran en contacto con el agua se solidifica y vuelve duro. Es mayormente empleado a instancias de la construcción, justamente por esa solidez que reviste, como adherente y aglutinante.

Desde tiempos remotos se necesitaron de mezclas especiales para construcciones. En la Antigua Grecia era frecuente el uso de tobas volcánicas para la obtención del cemento, es decir, se lo conseguía únicamente de modo natural, en tanto, en el siglo XIX, más precisamente en el año 1824, fue una revolución cuando el británico Joseph Aspdin patentó el cemento portland, que se llamaba así por la coloración verde oscuro, similar a la piedra de Portland.

2.2.2 CLASIFICACIÓN

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcareo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

A continuación se detallan los diferentes tipos de cementos entre los cuales primero se clasifican en naturales y artificiales.

2.2.2.1 CEMENTOS NATURALES

Son aquellos que se obtienen por la calcinación a altas temperaturas de las rocas de arcilla y calizas hasta la expulsión del anhídrido carbónico y pulverizando lo obtenido.

Entre los cementos naturales tenemos:

- Cemento natural rápido: su fraguado termina antes de 30 minutos, esta normalizado en una categoría. Designación: cemento NR-20¹
- Cemento natural lento: su fraguado empieza a partir los 30 minutos y termina antes de las 12 horas. Designación: cemento NL-30 y cemento NL-80.¹
- Cemento zumaya: es aquel que es resistente al agua de mar, además es de fraguado rápido ya que finaliza entre los 5 y 25 minutos. Designación: cemento CZ²

2.2.2.2 CEMENTOS ARTIFICIALES

2.2.2.2.1. CEMENTO PORTLAND

Material proveniente usualmente de las limonitas que proporcionan CaO y arcillas que proveen el SiO₂ y el Al₂O₃, estos materiales se funden en un horno, conformando así silicatos de sodio o aluminio y a esto se le llama clinker. Una vez enfriado y pulverizado su color es gris y sus partículas son muy finas.

¹ Designación según la normativa española para cementos.

² Designación según la normativa española para cementos.

La calidad de los cemento está establecida en función de las resistencias mecánicas y se fijan según la resistencia mínima a compresión exigida en mortero normal a la edad de 28 días. Los cementos tipo P son aquellos de categoría 250, 350, 450. Los cementos tipo PAS son de categoría 250 y 350.

Existen diferentes tipos de fraguado del cemento tipo Portland que son:

- Cemento p-250: inicia a los 45 minutos y finaliza antes de las 12 horas
- Cemento p-350: inicia a los 30 minutos y finaliza antes de las 20 horas.
- Cemento p-450: igual al de categoría p-350

Los tiempos de fraguado de los cementos Portland resistentes a aguas con altas concentraciones de sulfatos son:

- Cemento pas-250: inicia a los 45 minutos y termina antes de las 12 horas
- Cemento pas -350: inicia a los 30 minutos y termina a las 10 horas

Tipos De Cemento Portland:

Tipo I

Es de uso general y más comúnmente usado en estructuras cuando estas no requieren de propiedades específicas.

Tipo II

Es un cemento modificado también de uso general, se lo utiliza para evitar el ataque de los sulfatos moderados o cuando se necesita mayor calor de hidratación, se limita el aluminato tricálcico y el silicato tricálcico pero conserva la misma resistencia.

Tipo III

Las partículas de este tipo de cemento son más finas lo cual hace que sea de alta resistencia inicial es decir desarrollo en siete días la misma resistencia que un cemento tipo I y II a los 28 días. En las normas no se especifica un tamaño mínimo de partículas pero si se nombra un límite practico ya que cuando las partículas son demasiado finas estas comienzan a hidratarse con la humedad del ambiente por lo que se dificulta su almacenamiento y su manejabilidad. No se aconseja ser utilizado en grandes fundiciones por su rápida hidratación y además presenta una mala resistencia a los sulfatos.

Tipo IV

Este cemento tiene bajos contenidos de silicato tricalcico y aluminato tricalcico. Esto hace que posea una baja temperatura de hidratación (aproximadamente 65% del tipo I, por esta razón es idóneo para grandes fundiciones ya que al momento del fraguado ocasiona menor agrietamiento. No posee una gran resistencia inicial, pero esta se va incrementando con lentitud.

Tipo V

En este cemento se limita el contenido de aluminato tricalcico. Esto le da una mayor resistencia a la acción de los sulfatos por lo que se recomienda su uso para obras hidráulicas.

2.2.2.2.2. CEMENTO SIDERURGICO

Se obtienen de la misma manera que el Portland aunque la puzolana ha sido sustituida en muchos casos por la ceniza de carbón proveniente de las centrales termoeléctricas, escoria de fundiciones o residuos obtenidos calentando el cuarzo. Estos componentes son introducidos entre el 35 hasta el 80%. El porcentaje de estos materiales puede ser particularmente elevado, siendo que se origina a partir de silicatos, es un material potencialmente hidráulico. Sin

embargo esta debe ser activada en un ambiente alcalino, es decir en presencia de iones OH⁻. Es por este motivo que debe estar presente por lo menos un 20 % de cemento Portland normal. Por los mismos motivos que el cemento puzolánico, el cemento siderúrgico también tiene buena resistencia a las aguas agresivas y desarrolla menos calor durante el fraguado. Otra característica de estos cementos es su elevada alcalinidad natural, que lo rinde particularmente resistente a la corrosión atmosférica causada por los sulfatos.

Según las normas existen varias clases que son:

- Portland siderúrgico, designación CEMENTO PS³
- Portland de horno alto, designación CEMENTO PHA⁴
- Siderúrgico – sobresulfatado, designación CEMENTO SF⁵

El CEMENTO PS se obtiene a partir de una mezcla 70% de escoria de clinker que tiene un mínimo de clinker con 30% de escoria granulada y sulfato cálcico.

2.2.2.2.3 CEMENTO PUZOLÁNICOS

Es el resultado de la mezcla entre la puzolana con la adición de aljez o anhidrita que sirve para regular el fraguado. La puzolana es un producto natural de origen volcánico que al ser reducido a polvo y mezclado con cal forman un material de propiedades hidráulicas.

Este tipo de cemento es de mayor resistencia a los agentes químicos, se caracteriza por desarrollar menos calor al fraguar, tener menor dilatación y ser más impermeable que el Cemento Portland, disminuyendo la exudación y segregación.

³ Designación según las normativa española para cementos.

⁴ Designación según las normativa española para cementos.

⁵ Designación según las normativa española para cementos.

Su fraguado es algo más lento que el del cemento Portland, pero tiene la ventaja de que va fijando lentamente la cal liberada en la hidratación del clinker en un proceso que se prolonga durante mucho tiempo, por lo que el cemento va ganando, con la edad, en resistencia tanto mecánica como química, superando en ambas al portland. Los aglomerantes cal-puzolana tienen su origen reconocido en las construcciones hechas por los romanos. Hoy en día se conservan aún las ruinas de los grandes edificios construidos con este material.

Las categorías son: PUZ-250 y PUZ-350.⁶

2.2.2.2.4. CEMENTOS DE ADICIÓN.

Son conglomerantes hidráulicos que sirven fundamentalmente para realizar correcciones en la composición del Pórtland.

Estos cementos se preparan mediante la mezcla de clinker y otros materiales, con resistencias mecánicas, regularidad y homogeneidad menores a los cementos tipo Portland o siderúrgicos como son:

- Cemento siderúrgico-clinker (SC)
- Cemento ordinario de adición (A)

El cemento tipo SC se produce al mezclar un porcentaje mayor al 70% de escoria y completando este porcentaje con clinker y sulfato cálcico.

El cemento de adición corriente se obtiene de la mezcla de clinker con varios tipos de materiales como por ejemplo margas, calizas, puzolanas, escorias, cemento natural lento, etc.

⁶ Designación según la normativa española para cementos.

2.2.2.2.5. CEMENTOS ALUMINOSOS

El Cemento Aluminoso se obtiene por la fusión de una mezcla de Caliza y Bauxita en determinadas proporciones, pulverizando el producto resultante, que deberá tener más del 32% de alúmina y menos del 20% de óxido de Hierro.

Suele tener un color muy oscuro y una gran finura de molido. Es de una gran estabilidad de volumen. La duración del fraguado es análoga a la del Cemento Portland, es decir, lenta, puesto que no empieza hasta un par de horas después de haber sido amasado; pero suele terminar antes, alrededor de las cuatro horas. Sus propiedades más interesantes son la resistencia a corto plazo, a los ataques de ácidos y a los ambientes agresivos (sulfatosos y marinos). Las reacciones del fraguado del Cemento Aluminoso desprenden mucho calor, por lo que también son importantes para hormigonados en zonas muy frías.

En este cemento se puede producir la aluminosis (que se puede dar cuando existe un ambiente continuado de humedad y la temperatura es elevada -más de 25°C-) en la que se produce la conversión de aluminatos hexagonales en cúbicos, afectando dicha transformación a la porosidad y resistencia de mecánica: el hormigón se vuelve más poroso y la resistencia puede llegar a reducirse hasta un 75%.

2.2.2.3 EL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP

En Ecuador la adición de puzolanas al cemento es indispensable para contrarrestar el efecto de los sulfatos presentes tanto en suelos como en aguas freáticas.

Uno de los mayores problemas que se producen en el cemento portland y de hecho en el hormigón, es causado por la cal.

El problema radica en que la cal no se agota por completo al combinarse con los otros compuestos y queda un residuo libre, y disponible (aprox. 1%).

La cal libre es el material vulnerable y el causante de la mayoría de los problemas del hormigón.

a) Inestabilidad de volumen del hormigón: La cal libre en el cemento (aprox. 1%), al humedecerse se hincha considerablemente; si el porcentaje es mayor, su hidratación puede provocar fisuras que se manifiestan a los pocos días de finalizado el fraguado del cemento, antes que hormigón haya desarrollado suficiente resistencia.

b) Porosidad y permeabilidad de hormigón: El hidróxido de calcio que se forma al hidratar el cemento es un material soluble y puede ser fácilmente arrastrado por las aguas en movimiento las mismas que pueden fluir por capilaridad por el hormigón.

c) Vulnerabilidad a sales de azufre (sulfatos): Los sulfatos reaccionan con el hidróxido de calcio formando sulfatos de calcio (yeso) aumentando el volumen (cerca del 18%). Provocando fracturas y desprendimiento de capas superficiales, exponiendo las capas interiores y eventualmente las armaduras.

Se facilita el progresivo ingreso de agentes agresivos al hormigón principalmente las aguas portadoras de los iones sulfato y otros que estas llevan, reaccionan con algunos de los productos hidratados del cemento en procesos expansivos acumulados. Este deterioro continúa hasta dejar las estructuras inutilizables.

La puzolana reacciona químicamente con la cal a temperatura ambiente y en presencia de humedad.

Estas reacciones son tardías, lentas y continúan combinándose con el hidróxido de calcio que se libera con la hidratación del cemento.

a) Al combinarse con el hidróxido de calcio, la puzolana forma nuevos compuestos estables y con poder cementante (silicatos y aluminatos de calcio), aumentando el volumen de pasta aglomerante.

b) Los hormigones con cemento portland puzolánico han demostrado ser muy resistentes a la acción de todo tipo de aguas agresivas y otros fenómenos físico - químicos.

c) Las porosidades propias del hormigón disminuyen en tamaño y cantidad volviéndolo menos permeable. Se reduce significativamente el lavado del hidróxido de calcio que aún permanece libre.

d) Los hormigones siguen ganando resistencia en forma notoria después de los 28 días de edad. Hasta 15-20% a los 56 días, hasta 30% a los 120 días de edad, siempre que los hormigones estén protegidos (curados).

2.3. ENSAYOS PARA CEMENTOS

2.3.1 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

La consistencia normal del cemento es plástico y se define como un estado de equilibrio entre la consistencia seca y la consistencia fluida del cemento, en el cual la pasta es fácilmente manejable.

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 el vástago 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 puesto en contacto con la pasta.

(Ecuación 2.8)

$$C = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

Donde,

C= consistencia normal del cemento

Mw= masa de agua

Mc= masa de cemento

2.3.2. TIEMPO DE FRAGUADO

La fijación de los tiempos de fraguado es arbitraria y da una idea del tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y apisonar los concretos y morteros de una obra así como el tiempo necesario para transitar sobre ellos y el tiempo para empezar el curado.

Los tiempos de fraguado del cemento determinan el tiempo total transcurrido desde que se agrega agua hasta cuando se obtienen las características deseadas de la pasta, estipulados por los métodos de Vicat y de Gillmore.

Los Factores que más inciden en los Tiempos de Fraguado son:

- Composición química del cemento.
- Finura del cemento; entre más fino sea, es mayor la velocidad de hidratación.
- A menor cantidad de agua de amasado corresponde un fraguado más corto.

- A menor temperatura ambiente, las reacciones de hidratación son más lentas.

Método De Vicat

Según este método el tiempo inicial de fraguado se obtiene cuando la aguja de Vicat penetra 25mm en la pasta de cemento y debe ser mínimo a los 45 minutos. Mientras que el tiempo final es cuando la aguja no deja marcas visibles en la superficie de la pasta y no debe ser mayor a las 8 horas.

Método De Gillmore

En este método el tiempo inicial de fraguado se obtiene cuando la aguja inicial no deja marcas visibles en la pasta y no debe ser menor a los 60 minutos. El tiempo final de fraguado se obtiene igualmente cuando la aguja de tiempo final no deja marcas visibles en la pasta y no sobrepasar a las 10 horas.

2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO

Es la relación que existe entre la masa del cemento y el volumen por la densidad del agua a 40° C. Esta relación nos da como resultado un valor adimensional el cual está en relación con la dosificación y control de las mezclas de hormigón.

Debido a que el cemento reacciona con el agua no podemos sumergirlo para determinar su gravedad específica por ello se recurre al uso de líquidos alternos como son la gasolina el kerosén, etc.

Este ensayo es importante ya que el cemento al ser un material aglutinante es necesario conocer su finura y gravedad específica.

La gravedad específica del cemento es la razón de la densidad del cemento a la densidad del agua ya para su determinación se utiliza el matraz de Le Chatelier.

(Ecuaciones 2.9 – 2.10 – 1.11)

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua}}$$

$$\text{Densidad del cemento} = \frac{\text{masa del cemento}}{\text{volumen desplazado por el cemento}}$$

$$\text{Densidad del agua} = \frac{1 \text{ gramo}}{\text{centímetro cúbico}}$$

2.3.4. FINURA DEL CEMENTO

Es un valor numérico el cual expresa el tamaño de las partículas de un cemento. Se obtiene mediante la multiplicación de la superficie específica que es el área superficial de las partículas de una masa unitaria de cemento determinada por permeabilidad, y los valores límites que se determinan por tamizado húmedo, composición fraccionada o métodos estadísticos.

Este ensayo se basa en la velocidad de paso del aire a través de una capa de material con determinada porosidad. Las partículas de cemento se hidratan a una profundidad de 0,01mm, con lo cual cualquier partícula que tenga en su interior un núcleo inerte y mayor a 0,02 mm tendrá en mismo efecto que una arena.

Una finura alta favorece la hidratación rápida del cemento y al mismo tiempo favorece también una generación rápida de calor. Para la industria cementera una finura alta representa invariablemente un mayor costo de molienda, por lo que el tratamiento sólo se justifica en el caso de que se pretenda producir un cemento especial de resistencia

rápida, por ejemplo, la finura en cementos de ultra rápida resistencia se deben alcanzar finuras del orden de 700-900 m²/kg.

También cuando el módulo de finura es alto favorece las propiedades físicas y químicas de un cemento. La relación esta descrita en la siguiente ecuación:

$$\frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^2} = \frac{3}{r}$$

Según las normas INEN 152, 1548 el valor máximo de finura para cemento Portland tipo I es de 2800 cm²/gr.

2.3 FABRICACIÓN DE MUESTRAS DE HORMIGÓN

El hormigón es un material temporalmente plástico que puede ser moldeado; está conformado por cemento, agregado fino y grueso, aire agua. Por lo tanto, lo que se va a modificar son estos materiales a través de las relaciones/agua cemento y cemento/agregados para que cuando la mezcla se endurezca se pueda lograr la resistencia, manejabilidad, costo y durabilidad previamente diseñada.

La relación agua/cemento es muy importante ya que de esta depende su resistencia, conforme la relación agua/cemento aumenta la resistencia es menor. Su resistencia también disminuye proporcionalmente con las cantidades de cemento empleadas.

El curado y el vibrado del hormigón son muy importantes porque complementan su resistencia, el primero nos ayuda a controlar el agrietamiento y el segundo nos ayuda a reducir la cantidad de aire ya que a menor cantidad de aire mayor es su resistencia. El moldeado de las muestras se lo realizo de acuerdo a la norma ASTM C-192.

2.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Los métodos de dosificación del hormigón tienen por finalidad encontrar las proporciones adecuadas en que hay que mezclar los materiales para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compactación, resistencia y durabilidad.

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes, no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto se debe a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante mezclas de prueba.

En general, las dosificaciones se basan en los tres tipos siguientes:

Dosificación del hormigón según mezcla de sus componentes en volumen, y en función de la riqueza de cemento que se necesite por m³.

Dosificación por peso de sus componentes, partiendo de una cantidad fijada de cemento por m³.

Dosificación en razón a las resistencias requeridas del hormigón a los 7, 14 ó 28 días (edad del hormigón).

Datos requeridos para la dosificación

La determinación de una dosificación para hormigones debe hacerse partiendo de unos datos iniciales establecidos en base al proyecto y condiciones de ejecución (reales o previstas) de la obra. Como datos necesarios se pueden indicar, por orden de trascendencia, los siguientes:

1. Resistencia característica especificada.
2. Sistema de puesta en obra o consistencia del hormigón.
3. Características de los materiales:
 - Cemento: tipo, categoría y peso específico
 - Áridos: granulometría, peso específico y procedencia o forma.

2.5.1. MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DEL ACI 211

Es un método en el que se parte de la resistencia que debe tener el hormigón, siendo adecuado para cualquier tipo de obra realizada con este material.

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

1. El primer paso contempla la selección del revenimiento, cuando este no se especifica, en el método del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros. (Ver anexo 8. Tabla 9-6 del ACI)
2. La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento depende del tamaño máximo, de la forma y

granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.

3. Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido. (Ver anexo 8. Tabla 9-5 del ACI)

4. Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. En una segunda tabla aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa. (Ver anexo 8. Tabla 9-3 del ACI)

5. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezclase deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.

6. Para el sexto paso del procedimiento el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco. (Ver anexo 8. Tabla 9-4 del ACI)

7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia. Para este séptimo

paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.

8. El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

9. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto el método ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

2.5. DOSIFICACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.

Las fibras de vidrio fueron dosificadas según los porcentajes sugeridos por la OCV reinforcements, que van desde un porcentaje mínimo de 0,05% hasta el máximo de 0,6% esto en relación al peso del hormigón.

Por lo tanto para obtener una mejor visualización de los resultados hemos trabajado con los siguientes porcentajes: 0,05%, 0,3% y 0,6%.

Al momento de realizar la mezcla las fibras deben ser introducidas de manera continua toda la dosificación y posteriormente el tambor de la concretera debe girar a su máxima velocidad durante aproximadamente 2 a 3 minutos para así lograr un mejor distribución de esta en todo el material.

CAPITULO 3: MÉTODOS DE ENSAYO

3.1. FLEXIÓN DE VIGAS

La flexión de vigas se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto, la resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura en MPa y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones, volumen del agregado grueso utilizado.

En nuestro caso usamos el método de ensayo ASTM C78 el cual consiste en que se cree el momento máximo en la zona central de la viga.

La viga a usar debe ser ensayada después de los 28 días de curado y debe ser una viga uniforme para que no se presente problemas en el momento de ensayo y su falla no esté fuera de la zona central.

Procedimiento:

El curado debe ser hecho tan pronto se desmolde las vigas (alrededor de 24 horas después de su colado) ya que una reducción de humedad puede conllevar a una variación de resistencia. Una vez ha pasado el tiempo de curado (en nuestro caso, 28 días en la cámara de humedad) se saca del lugar de curado para medir su ancho, altura y longitud, se pesa la muestra y se señalan dónde van a estar los apoyos. El espécimen es colocado en el aparato de ensayo de manera que los apoyos estén separados del borde de la viga 5 ± 0.1 cm para que la distancia entre los apoyos inferiores sea 3 veces la altura de la viga, y la distancia entre los apoyos superiores sea $1/3$ la distancia entre los apoyos inferiores y deben estar a una distancia igual a los apoyos inferiores.

Toda grieta no debe ser menor a 0.3 mm y si es necesario se debe usar una capa para alisar la superficie tomando en cuenta que no debe ser mayor a 6.4mm. Una vez colocada en la máquina de la manera adecuada se aplica una carga de 3% a un 6% de la carga última esperada para luego incrementar esta carga a una velocidad constante hasta su rotura (esta velocidad puede variar de 0.86 a 1.2 Mpa/min)



Ilustración 3-1. Flexión de vigas.

Aparato:

Máquina de carga.- es un aparato de sistema hidráulico que aplica fuerzas axiales determinada por una computadora central la cual suministra los datos de carga, velocidad, deformación, etc. Esta es multifuncional ya que los cabezales pueden ser adaptados según el ensayo requerido.

Cálculos:

Si la fractura inicia en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos, calcule el módulo de ruptura como sigue:

$$R = PL / bd^2 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Dónde:

R = Modulo de Ruptura (psi ó Mpa)

P = Carga máxima aplicada, indicada por la máquina (lbf ó N)

L = Longitud entre apoyos, (pulg. ó mm)

b = Ancho promedio del espécimen (pulg. ó mm), en la fractura

d = Altura promedio del espécimen (pulg. ó mm), en la fractura

Nota: El peso de la viga no está incluido en el cálculo.

Si la fractura ocurre en la superficie a tensión por fuera del tercio medio de la longitud entre apoyos, pero a una distancia no mayor que el 5% de la luz libre, calcule el módulo de ruptura como sigue:

$$R = 3Pa / bd^2 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Dónde:

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más próximo, medido sobre la superficie a tensión (pulg. ó mm)

Nota: El peso de la viga no está incluido en el cálculo.

Si la fractura ocurre en la superficie a tensión por fuera del tercio medio de la longitud entre apoyos, por más del 5 % de la luz libre, descarte el resultado del ensayo.

Resultados:

Como resultados se presenta el módulo de rotura de la viga y el tipo de falla de la viga.

3.2. ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

Este ensayo es el más importante en cuanto se refiere al hormigón ya que en cualquier estructura el hormigón está diseñado para resistir a la compresión, debido a que esta resistencia es la que mejor posee. El ensayo elegido para encontrar los esfuerzos de compresión esta normalizado por la ASTM, norma C39. Tiene como objetivo determinar la resistencia a una carga compresiva en una muestra cilíndrica hecha con una dosificación predeterminada, la forma es cilíndrica por lo que es una de la forma geométrica más resistente. Este esfuerzo se encuentra dividiendo la máxima carga obtenida para el área de la sección cruzada del cilindro del hormigón.

Procedimiento:

Al igual que en la flexión de vigas, las muestras deben ser curadas tan pronto sean desmoldadas ya que puede haber una variación de resistencia por la reducción de humedad. Una vez que se ha llegado a la edad en la cual se debe realizar el ensayo (en nuestro caso a los 7 y a los 28 días) se retira del lugar de curado para poder realizar las medidas de su altura, diámetro y peso. El ensayo debe ser realizado apenas se saca la muestra del lugar de curado en la siguiente Tabla se encuentran los tiempos de tolerancia entre el ensayo y la extracción de las muestras de la cámara de humedad.

EDAD DE PRUEBA	TIEMPO MÁXIMO ENTRE CURADO Y ENSAYO (HORAS %)
1	0,5h
3	2h
7	6h
28	20h
90	48h

Tabla 3-1. Tiempo máximo entre curado y ensayo según norma ASTM C39.

Cámara de Humedad

En nuestro caso se puede usar la cámara de humedad del laboratorio para poder someter nuestras muestras al curado. Este no es más que un cuarto la cual está equipada con una máquina que esparce el agua que recibe constantemente para que dentro de esta cámara esté constantemente una ligera llovizna la cual mantiene húmeda a todas las muestras que se encuentran en ella.



Ilustración 3-2. Muestras cilíndricas en la cámara de humedad.

El ensayo debe ser realizado en lo posible en la misma posición en la que fue moldeada para evitar cabeceo y en la parte de contacto con la máquina debe ser lo más liso posible. Se puede usar (como en nuestro caso) un neopreno el cual ayuda que la carga

se distribuya uniformemente en la cara del cilindro. Se coloca el cilindro de forma vertical y se centra en el kaping y en la máquina para poder poner la máquina en contacto con la muestra. Una vez listo todo para el ensayo se cubre la muestra con una malla por concepto de seguridad y se encera la máquina para empezar a dar carga constante a una velocidad de aproximadamente 0.14 a 0.34 Mpa/seg. Esta velocidad debe ser mantenida por lo menos por la última mitad de la carga prevista de rotura, en la primera mitad la carga puede tener un incremento en su velocidad. Cuando se observa que el cilindro está llegando a su carga de rotura no se varía la velocidad. Para terminar el ensayo se anota el valor de la carga última y el tipo de falla del cilindro.

Aquí se encuentran los tipos de falla de cilindros:

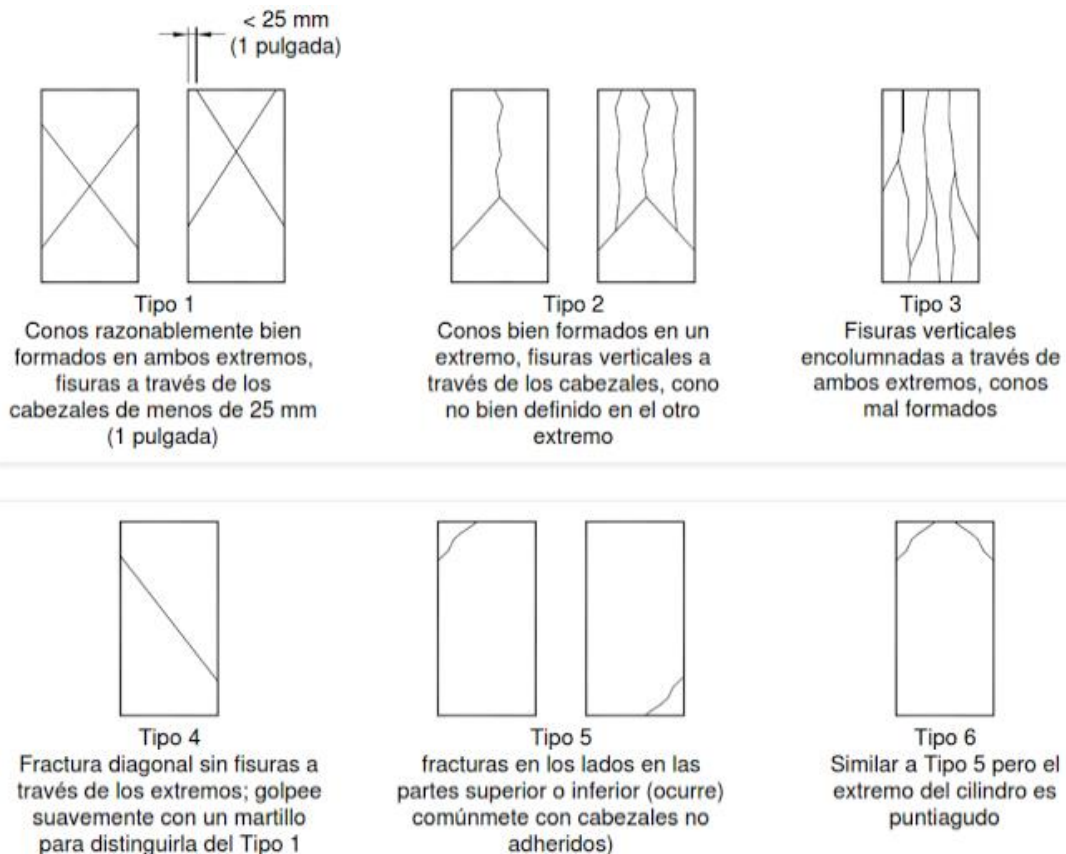


Ilustración 3-3. Tipos de falla. Según norma ASTM C-39.

Aparato de carga:

Al igual que en flexión de vigas este es un aparato de sistema hidráulico que aplica fuerzas axiales determinada por una computadora central la cual suministra los datos de carga, velocidad, deformación, etc. Esta es multifuncional ya que los cabezales pueden ser adaptados según el ensayo requerido. Esta máquina debe ser previamente calibrada y debe estar en óptimas condiciones de mantenimiento. Para este ensayo este debe ser equipado con camas de acero en la cual se pondrá la muestra en reposo para ser ensayadas. Para evitar el cabeceo de la muestra el bloque de acero debe estar adaptado con una rótula de acero.

Cálculos

Calcule el esfuerzo de compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo por el área de la sección transversal promedio determinada y exprese el resultado con una aproximación de 10 psi (0.1 MPa).

Si la relación longitud a diámetro del espécimen es menor que 1.8 corrija el resultado obtenido en multiplicando por el apropiado factor de corrección mostrado en la siguiente tabla:

L/D	Factor
1,75	0,98
1,5	0,96
1,25	0,93
1	0,87

Tabla 3-2. Tabla de factor de seguridad. Según norma ASTM C39.

Estos factores de corrección se aplican a concreto de peso ligero, pesando entre 100 y 120 lb/pie³ (1600 a 1920 Kg./m³) y a concreto de peso normal. Son aplicables a

concreto seco o remojado al momento del ensayo. Los valores no dados en la tabla deberán ser determinados por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales del concreto de 2000 a 6000 psi (13.8 a 41.4 MPa).

Resultados:

Se presenta el máximo esfuerzo de compresión que el cilindro ha soportado y el tipo de falla producido por la carga.

3.3. ENSAYO BRASILEIRO

Este ensayo permite encontrar el esfuerzo máximo de tensión del hormigón a razón de aplicar una fuerza de compresión diametral en un cilindro de hormigón acostado horizontalmente.

Es un método tipo indirecto para medir la tensión del hormigón y está normada por la ASTM en la norma número C496.

Procedimiento

Una vez hecha la dosificación, moldeada y curada durante el tiempo requerido para realizar el ensayo, siendo la edad mínima de 28 días, estas deben ser marcadas con líneas diametrales en cada cara horizontal del cilindro, las cuales deben estar lo más paralelas posibles, se toman las medidas de los cilindros (Alturas, diámetros y pesos) y se lo ubica en la máquina de ensayo (la misma máquina usada para la compresión de cilindros), una vez ubicado el cilindro y puesto una tira de plywood en la parte superior e inferior y de manera perpendicular, se encera la máquina para poder empezar a cargar al cilindro a una velocidad de carga de entre 0.689 y 1.380 MPa/min. Se anota la carga máxima y el tipo de falla del espécimen del hormigón.

Aparato

Máquina de carga.- es un aparato de sistema hidráulico que aplica fuerzas axiales determinada por una computadora central la cual suministra los datos de carga, velocidad, deformación, etc. Esta es multifuncional ya que los cabezales pueden ser adaptados según el ensayo requerido. Esta máquina debe ser previamente calibrada y debe estar en óptimas condiciones de mantenimiento. Para este ensayo este debe ser equipado con camas de acero en la cual se pondrá la muestra en reposo para ser ensayadas.

Tiras de madera.- Para cada cilindro de hormigón se necesitan 2 tiras de madera común tamaño nominal de 3.2mm de espesor, 25mm de ancho y el largo del cilindro de hormigón, en nuestro caso usamos cilindros de 300mm de largo, las tiras de hormigón no pueden usarse para más de un ensayo.

Barras o camas de presión.- Si la dimensión más larga de la cara de presión tiene una longitud menor a la del cilindro se deberá usar una barra o cama de presión suplementaria las cuales deben ser totalmente planas y deberán tener un ancho de por lo menos 31mm y un largo no menor a la longitud del cilindro.

Cálculos.

Calcule el esfuerzo de tensión por partidura del especimen como sigue:

$$T = 2P / \pi ld \text{ (1) (Ecuación 3.3)}$$

Donde:

T = esfuerzo de tensión por partidura, psi (Kpa)

P = máxima carga aplicada, indicada por la máquina de ensayo, lbf, (KN)

l= longitud, pulg. (m)

d = diámetro, pulg. (m)

Resultados.

Como resultado se presenta el esfuerzo tensionante y el tipo de falla de la muestra de hormigón.

3.4. ENSAYO DE IMPACTO

Este ensayo consiste en determinar la resistencia del hormigón a una carga relativamente grande que se presenta instantáneamente, solicitando al elemento de hormigón, es decir, que el incremento de carga “no sea progresivo” como en los demás ensayos, sino que es una carga que golpea al elemento, ya sean estas viguetas o cilindros de hormigón. El laboratorio de la universidad tiene 2 opciones para realizar los ensayos a impacto nuestra elección fue el ensayo normado por la ACI 544.2R-89 la cual es un procedimiento usando los equipos de las norma ASTM D 155 y se usan muestras normadas por ASTM C 31 o la ASTM C 470.

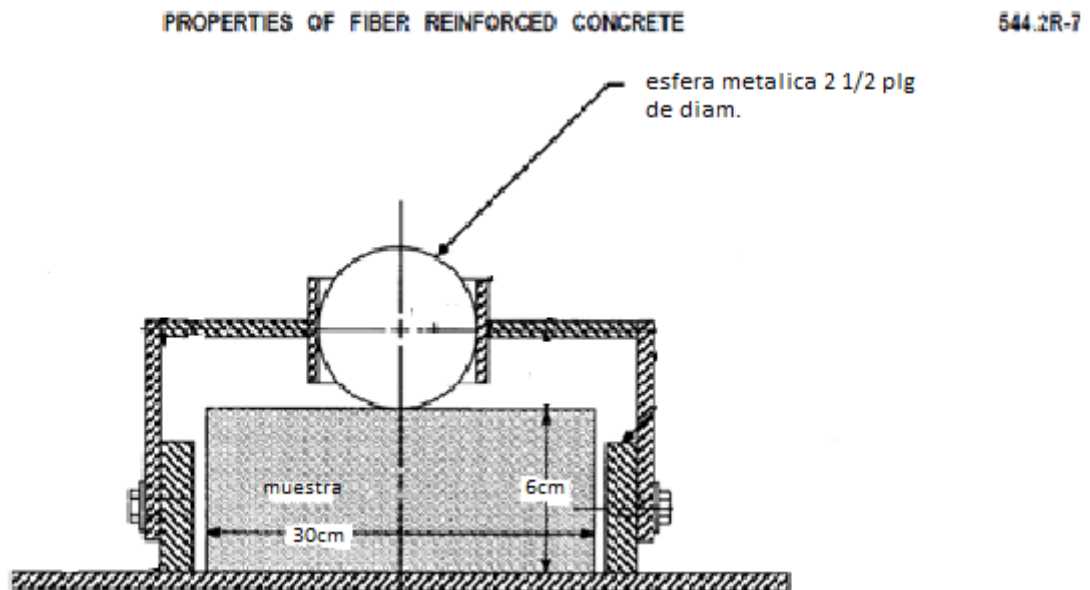


Ilustración3-4. Esquema de ensayo de impacto. Fuente ACI 544.2R-89.

Procedimiento:

Las muestras a ser ensayadas en este proceso, son hechas de igual manera a las muestras preparadas para los ensayos de compresión. Las muestras deben ser curadas tan pronto sean desmoldadas ya que puede haber una variación de resistencia por la reducción de humedad. Una vez que se ha llegado a la edad en la cual se debe realizar el ensayo (en nuestro caso a los 28 días) se retira del lugar de curado para poder realizar las medidas de su altura, diámetro y peso. Si los cilindros son de una altura mayor a 15cm +- 1cm de altura a estas se lo corta con una amoladora mecánica. Una vez preparada la muestra esta se coloca en la base donde va a ser ensayada y se coloca la esfera de acero de 2pulg de diámetro en el centro de la muestra. Una vez listo todo el equipo para el ensayo se pone en lugar al martillo (el mismo usado en la norma ASTM D 155) y se empieza a dar los golpes de la misma manera del ensayo ASTM D155 hasta que se produzca la primera fisura para poder tomar registrar el número de golpes, de la misma manera se sigue dando golpes hasta la rotura completa del cilindro para tomar el registro de la rotura total del cilindro.

Cálculos.

Del se registra el número de golpes a los cuales se observó la primera grieta y el número de golpes a los que fallo la muestra. Con estos resultados se realiza una comparación relativa de resistencia entre las muestras ensayadas.

A partir del número de golpes se encuentra la Energía de Impacto con la siguiente fórmula:

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V_i^2 \cdot N_i \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Donde:

E, = energía de impacto (N-m)

M = peso del martinete (kg)

V = velocidad del impacto (m/s)

N = número de golpes

Resultados.

Como resultado se presenta el número de golpes a los cuales fallo la muestra y la energía de impacto.

CAPÍTULO 4: FIBRAS DE VIDRIO

4.1 INTRODUCCIÓN

El Hormigón presenta muy buenas características ante la compresión, pero ofrece muy escasa resistencia a la tracción, por lo que resulta inadecuado para secciones que tengan que trabajar a flexión o tracción. Esta característica ha conducido a numerosas investigaciones y desarrollos para mejorar las resistencias ante estos sometimientos, intentando encontrar dentro del mundo de los materiales compuestos la solución a esta deficiencia.

Los primeros grandes desarrollos se lograron con la utilización de fibras de amianto. El material resultante, llamado “Fibrocemento”, presentaba grandes ventajas de costo y trabajabilidad.

En búsqueda de un mejoramiento que permitiera la consecución de un Material Compuesto robusto, con excelentes prestaciones, se han desarrollado numerosas experiencias con otras fibras tales como las de origen orgánico (aramidas, nylon, rayon, polipropileno, etc), inorgánico (vidrio, boro, carbono, etc) y metálicas (hierro, fundición dúctil, acero, aluminio, etc). De entre todas ellas la mejor relación costo-propiedades mecánicas la ostentan las Fibras de Vidrio ofreciendo una gran facilidad de trabajo y manejabilidad, conjugada con un carácter inocuo y seguro, otorgando a los Materiales Compuestos, generados por ellas; grandes resistencias mecánicas.

Los primeros ensayos y experiencias para el refuerzo de los cementos y sus morteros se realizaron con Fibras de Vidrio tipo “E”, (usadas normalmente para el refuerzo de plásticos y poliésteres) dada la alta resistencia inherente de las mismas. Sin embargo, dichas tentativas fracasaron debido a que, este tipo de Fibra, al ser incorporada al mortero, estaba sujeto al ataque químico de los cristales alcalinos producidos en el proceso de hidratación del cemento, sin poderse remediar este problema.

En 1967 el Dr. A. J. Majundar, del Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido, empezó a investigar los vidrios que contenían Circonio, logrando convertir en fibra alguno de

ellos y demostrarlo la resistencia que presentaban estas fibras ante el ataque alcalino en un medio agresivo como el que suponía el refuerzo de los cementos Portland. Tras 4 años de continuas investigaciones al refuerzo duradero para los cementos se logró y la patente de esta investigación fue solicitada por el National Research Development Corporation (NRDC).

4.2. INFORMACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO:

Debido a que en el Ecuador no hay una empresa dedicada a la producción esta fibra, aquella que se encuentra en el mercado es exportada desde Estados Unidos y distribuida desde Colombia, siendo esta una fibra de vidrio álcali-resistente.

La materia prima para la producción de fibra de vidrio es:

- Oxido de circonio (ZrO_2)
- Sílice (SiO_2)
- Alúmina (Al_2O_3)
- Oxido de sodio (Na_2O)
- Oxido de titanio (TiO_2)
- Oxido de calcio (CaO)

4.2.1. Proceso de Fabricación

Composición y Fusión:

Las materias primas, finamente molidas, se dosifican con precisión y se mezclan de forma homogénea.

A continuación la mezcla, llamada vitrificable, es introducida en un horno de fusión directa y calentada a una temperatura determinada. Las temperaturas de fusión rondan los $1550^{\circ}C$ y estas dependerán de los elementos constituyentes del vidrio (fundentes,

formadores de red, etc.). Estas condiciones imponen a la hora de la construcción del horno la utilización de refractarios de características específicas a base de óxidos de circonio y cromo, de costo muy elevado.

Fibrado:

El vidrio en estado fundido, al salir del horno, es conducido por unos canales alimentando las Hileras de Fabricación de fibras. Estas hileras son elementos fabricados con aleaciones de Platino, de forma prismática y con una base trabajada con un número determinado de agujeros de dimensiones controladas. La distribución y diseño de los agujeros es tal que permiten y facilitan el fibrado del vidrio.

El vidrio fundido se mantiene en la hilera a unos 1250°C , temperatura que permite su colada por gravedad, dando origen a barras de vidrio de algunas décimas de milímetro de diámetro. El calentamiento de las hileras para este proceso se realiza por efecto Joule, con una corriente de seguridad (bajo voltaje y gran amperaje).

A la salida de la hilera, el vidrio se estira a gran velocidad, entre 10 y 60m/s según el diámetro a obtener. El enfriamiento se realiza en una primera fase por radiación y en una segunda por pulverización de agua fría. De esta forma se logra la no orientación de las partículas en el espacio y por lo tanto la formación de este sólido amorfo que es el vidrio. El vidrio obtenido tras este proceso tiene forma de filamento de varias micras de diámetro. Los diámetros normales de filamentos oscilan entre las 14 y las 20μ según el producto y la aplicación a la que se dirija.

Ensimado:

El conjunto de filamentos desnudos, tal y como salen de la hilera, son inutilizables directamente, ya que no hay cohesión entre ellos, no resisten la abrasión, carecen de flexibilidad y trabajabilidad, etc. Para corregir estos efectos y dar nuevas propiedades a la fibra es necesario revestir los filamentos con una fina película (ensimaje) que está

constituida en general por una dispersión acuosa de diversos compuestos químicos que presentan una función bien definida.

El ensimaje se deposita sobre los filamentos a la salida de la hilera cuando la temperatura del vidrio está todavía comprendida entre los 60 y 120°C, según las condiciones de fibrado. La cantidad de ensimaje que se deposita sobre el vidrio es relativamente baja (entre el 0,5 y el 5 %).

Luego de la ensimación se procede a la unión de los filamentos para formar los hilos o conjunto de filamentos dispuestos en formato comercial. La unión de los filamentos se realiza mediante unos “peines” con gargantas especiales en los cuales se produce la unión facilitada por el ensimaje.

Es este proceso el que otorgará al filamento y al hilo las características especiales que:

- Le hará apto ante una aplicación específica.
- Dará cohesión entre filamentos.
- Dará resistencia frente a la abrasión que el filamento pueda sufrir consigo mismo, con otros filamentos o con otras superficies.
- Elimina cargas electrostáticas en los filamentos o unión de los mismos.
- Facilita la trabajabilidad del filamento y su transformación.
- Rigidiza en mayor o menor medida la unión de los filamentos ó hilos.

Existen ensimajes especiales para:

- Resistir la abrasión que supone el amasado de la fibra en un medio extremadamente agresivo como es el de la mezcla con arena, cemento, agua y aditivos químicos.
- Facilitar su corte y proyección en una pistola especialmente diseñada para estos procesos de transformación de la fibra.
- Facilitar la dispersión de los filamentos, esto es, facilitar la desunión entre filamentos.

Bobinado:

Los hilos obtenidos de la unión de los filamentos son bobinados para dar lugar a productos finales o productos intermedios, que se bobinan según diferentes formas y geometrías. En este proceso se controlará la velocidad del estirado de las fibras.

Secado:

Los productos procedentes del bobinado se pasan por diferentes dispositivos de secado con objeto de eliminar el exceso de agua en el que había disuelto el ensimaje y otorgar al ensimaje un tratamiento térmico necesario para consolidar sus propiedades frente a las aplicaciones a las que será sometido.

Transformación final:

Aquí se realizarán las operaciones necesarias para conferir al hilo el formato adecuado para la correcta utilización por parte de los fabricantes que usan la fibra de vidrio como material de mejoramiento.

4.3. TIPOS DE FIBRAS DE VIDRIO

- **Roving Ensamblado:** Este se obtiene de la unión de un número determinado de hilos, procedentes de ovillos, formando una “mecha”.
- **Hilos cortados:** Los hilos procedentes de los ovillos son, en este caso, cortados en longitudes determinadas, según lo exija la aplicación a la que vayan destinados. Estos se utilizan en procesos de amasado y aplicación por medio del colado-vibrado tradicional o por el de proyección de la mezcla realizada.

Dentro de la gama de los hilos cortados tenemos dos grandes familias:

- 1) Los hilos cortados íntegros: Hilos que son capaces de aguantar grandes abrasiones durante el amasado con aglomerantes hidráulicos,

arenas, gravas, agua y aditivos químicos, manteniéndose en forma íntegra durante y tras el amasado realizado.

2) Los hilos cortados dispersables en agua: Hilos que son capaces de dispersarse o dividirse en filamentos individuales que lo forman, durante el proceso de amasado o en contacto con agua o disolución acuosa.

Estos se utilizan en mercados de sustitución del amianto y en mercados en que por su gran resistencia frente al ataque químico, los emplean en la realización de diferentes elementos sin adición de aglomerantes hidráulicos.

- **MAT:** Es una presentación especial en forma de fieltro en la que los hilos cortados a una longitud determinada son aglomerados entre sí mediante un ligante químico.

Hay distintos tipos de MAT que se diferencian sobre todo por el tipo de hilo de base con el que están fabricados.

Los gramajes que presentan los MAT son bajos (entre 100 y 225 gr/m²) para favorecer la impregnación de los hilos en el mortero o lechada así como para favorecer su puesta en obra que se presenta de manera muy sencilla e intuitiva.

El refuerzo que ofrece este material es del tipo isótropo y en el plano, facilitando la dosificación controlada de fibras de refuerzo y la orientación de las mismas.

- **Malla:** Es un tipo de tejido fabricado a partir de mechas de roving directo de igual o diferentes títulos (tex) en trama y urdimbre, tejidos de manera simple o tejidos y tratados con ensimajes de diferentes características según se quieran conseguir unos tipos u otros de protecciones en la transformación de la malla o para la mejora de su trabajabilidad.

De esta forma podemos encontrarnos con distintas mallas, las que se diferencian por sus armaduras:

1) Mallas Unidireccionales: en las que el número de hilos es netamente más elevado en un sentido que en otro. En este apartado dispondríamos de mallas Unidireccionales en sentido trama y en sentido Urdimbre. Normalmente los hilos vendrán colocados en paralelo y unidos entre ellos.

2) Mallas Bidireccionales: equilibradas o compensadas en las que el refuerzo tanto en número de hilos como en disposición dentro de la malla está compensada y es idéntico en trama y en urdimbre.

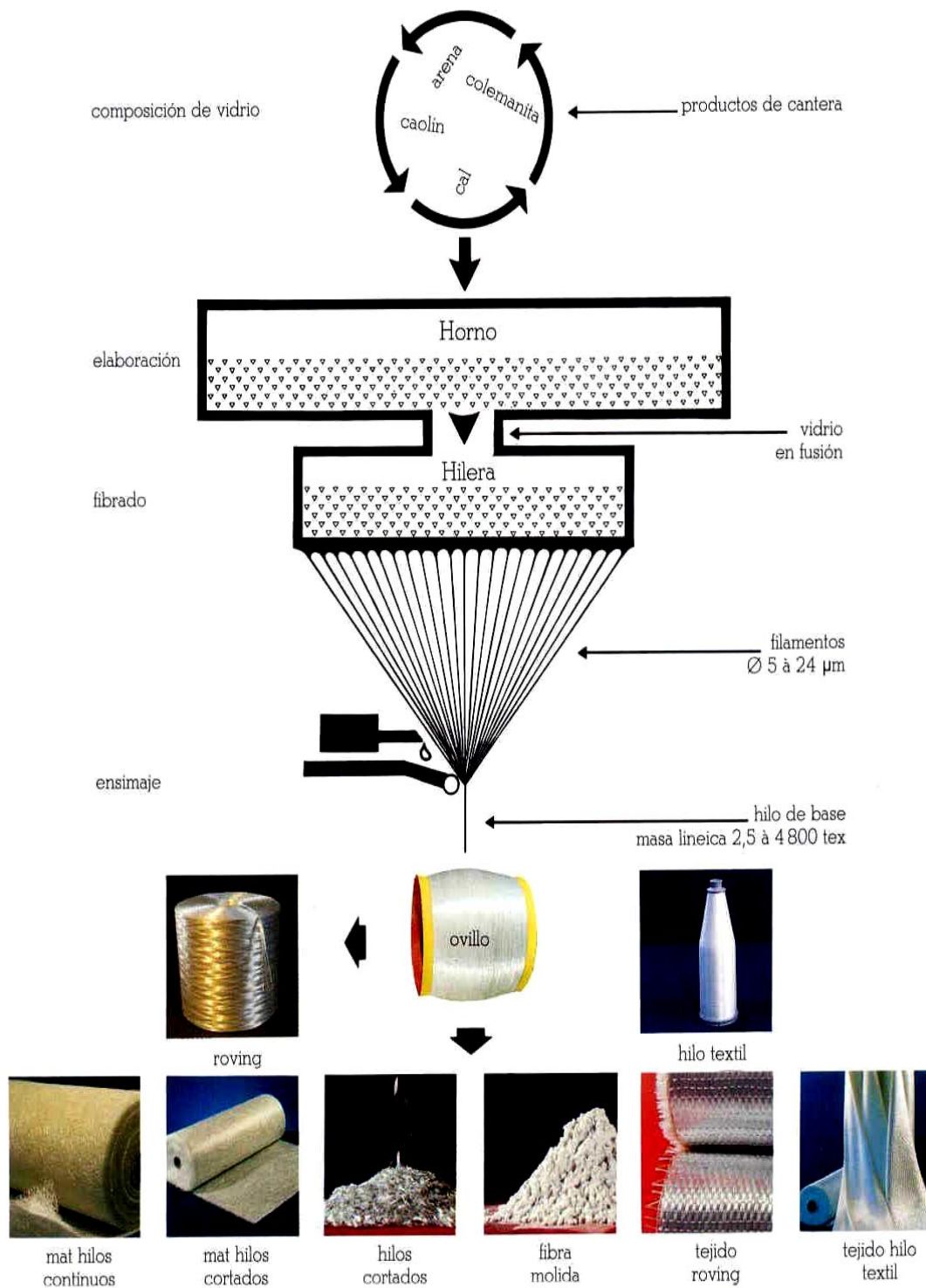


Ilustración 4-1. Proceso de la fabricación de la fibra de vidrio. Fuente: “La Fibra de Vidrio Vetrotex”, Alcalá de Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, s.f., pág. 5.

Para nuestra investigación usamos la fibra de vidrio con una transformación final tipo MAT.

La fibra de vidrio ha ido evolucionando a lo largo del tiempo lo que ha conllevado a la producción con propiedades adicionales a las primeras q son: Buen aislamiento térmico, Inerte ante ácidos y un material que soporta altas temperaturas

4.4. FABRICACIÓN DE UN GRC (GLASS REINFORCED CONCRETE)

Los componentes más usuales de un GRC son:

- Cemento.
- Arena.
- Agua.
- Fibra de Vidrio A. R.
- Aditivos.

Entre los aditivos destacan los plastificantes, fluidificantes, superplastificantes, pigmentos, impermeabilizantes, hidrófugos, polímeros, elementos puzolánicos especiales, etc. Estos aditivos serán agregados, o no, dependiendo de las propiedades y diseño a otorgar al GRC en cada obra y en base a los requerimientos exigidos en las prescripciones correspondientes.

Bajo la descripción general de GRC hay numerosas posibilidades de variar las mezclas dependiendo del uso del producto final o del método de fabricación elegido para producir una familia de compuestos. La estandarización está más arraigada en las mezclas empleadas sobre GRC para aplicaciones arquitectónicas y en las mezclas usadas en el proceso de fabricación por proyección simultánea.

Por su parte, la cantidad de fibra de vidrio dependerá:

- a. Del proceso de fabricación del GRC: Dependiendo del proceso de fabricación del GRC se tendrán variaciones en la cantidad de fibra añadida. Esto es, si el proceso es el

de proyección simultánea (uso de la fibra en forma de roving) la cantidad de fibra de vidrio Álcali-Resistente Cem-FIL será del 5% en peso del total de la mezcla realizada para la fabricación del GRC. Por el contrario, si en el proceso de fabricación se ha de incorporar la fibra de vidrio durante el amasado del mortero (premezcla o premix) la proporción será del 3% del total de la mezcla realizada.

b. De la Aplicación: Las fibras de vidrio AR pueden ser incorporadas entre el 0.1 % y el 5% en peso. Cuando la proporción es baja, las fibras AR minimizan la segregación de materiales y evitan las microfisuraciones de las piezas fabricadas con cemento, aumentando la dureza y la resistencia a los choques. Cuando las proporciones se presentan entre el 1 % y el 2%, las fibras AR son ideales para mezclas armadas, reduciendo la densidad de productos de hormigón. Cuando la proporción está entre el 2% y el 3.5% las fibras AR sirven de refuerzo primario en productos realizados por moldeo y vibración de bajo coste. Cuando la proporción es de un 5% se utilizan las fibras AR para las aplicaciones que exigen una gran resistencia, tales como los paneles de fachada arquitectónicos.

c. La Resistencia a otorgar a GRC: La cantidad de vidrio Álcali-Resistente en forma de fibras es muy importante desde el punto de vista de la resistencia que presenta el elemento compuesto GRC, pero también es importante tener en cuenta la longitud de las fibras para la consecución de unos adecuados niveles de resistencia. Otro parámetro a controlar durante el proceso de fabricación del GRC, es la longitud de la fibra⁷, la cual dependerá en gran medida del proceso de fabricación, ya que, por ejemplo, en procesos de premezcla una fibra muy larga puede dar problemas de amasado y de destrucción de la fibra por abrasión en su superficie. Para estos procesos las longitudes ideales (aquéllas con las que se tiene la mayor resistencia con una perfecta trabajabilidad) oscilan entre los 6 y 24 mm, presentando sus mayores prestaciones a los 12 mm. Para procesos de proyección simultánea (utilización de roving) las longitudes ideales oscilan entre los 30 y los 45 mm [19].

4.5. BENEFICIOS

La fibra de vidrio puede ser usada en diferentes cantidades según cual sea el objetivo de uso pero en si las ventajas de la fibra de vidrio que las empresas ofrecen (según OCV Reinforcements) son:

- **Control y prevenciones de fisuración en hormigones y morteros frescos y endurecidos.**

Esta propiedad es de mucha importancia para cuando se construya lugares amplios de hormigón y por la dilatación de la misma por retracción plástica o temperatura se produzcan micro- tensiones en toda la sección del hormigón.

- **Mejora global de la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón**

Como se conoce el virio es más impermeable que los agregados que se usan comúnmente en el hormigón por lo que al convertir un hormigón común a un más resistente a ser permeable incrementa la durabilidad a largo plazo del hormigón en sí, y si al acero si este es hormigón armado.

- **Mejora de las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.**

Como se verá en los resultados en el siguiente capítulo la fibra de vidrio mejora propiedades del hormigón como son la compresión tracción y flexión siempre y cuando estas se usen en cantidades que no afecten a la homogeneidad del material.

- **Excelente trabajabilidad**

Esta tesis ha estudiado un rango de casos de fibra de vidrio y su trabajabilidad y en ella si existe un rango el cual la trabajabilidad no es afectada mucho lo que nos permite hacer ciertas dosificaciones sin usar aditivos plastificantes.

- **Completamente invisible en la superficie terminada**

Para dosificaciones bajas de fibra de vidrio y haciendo un hormigón bien mezclado permite que todas las fibras se distribuyan a lo largo y ancho de toda la sección lo cual lo hace que esta no afecte a la estética del hormigón fraguado.

- **No se corroe**

Aparte de modificar la permeabilidad del hormigón también existe la ventaja que la fibra de vidrio no pierde sus propiedades con el agua (como la lana de vidrio) lo cual permite introducirlo al mezclado sin que este se afecte al corto o largo plazo por el contacto con el agua.

- **Mezcla homogénea**

Para el mezclado del hormigón con fibra de vidrio lo que se hace es introducirlo al final de la mezcla de poco a poco y dejarle a la maquina mezcladora trabajar a su máxima velocidad durante 4 o 5 minutos y así se obtiene una mezcla homogénea.

- **No se requiere agua adicional**

La fibra de vidrio no absorbe agua por lo que no afecta la dosificación con la que se trabaja, entonces no es necesario recalcular para introducir la fibra de vidrio después de la dosificación encontrada.

- **Seguro y fácil de manejar**

La fibra de vidrio no es un material inflamable y tampoco produce reacciones químicas peligrosas con el contacto de los agregados del hormigón lo cual permite que este se trabaje son ningún riesgo

4.6. USOS Y APLICACIONES

Diferentes empresas aprovechan la fibra de vidrio por sus cualidades entre las más importantes su peso y moldeabilidad y flexibilidad y un precio relativamente bajo, es por eso que es un material muy aceptado en carrocerías. Es por eso que es usado en la fabricación o reparación de automóviles.

En Ecuador se usaban en las carrocerías Cóndor, siendo muy popular el uso de la fibra de vidrio pero en ese tiempo las fibras de vidrio fabricadas no eran resistentes a los rayos ultravioletas lo cual hacía que la carrocería pierda su estética después de un tiempo determinado.

Las fibras de vidrio usadas en el hormigón pueden llegar a ser muy útiles y dependiendo de la dosificación usada puede reemplazar a mallas electro soldadas, barras de refuerzo e incluso sustituir al acero.

4.6.1. Principales Aplicaciones del hormigón reforzado con fibra de vidrio.

Sus aplicaciones presentan un campo muy extenso en la Arquitectura e Ingeniería. A continuación se detallan las aplicaciones más usuales del hormigón reforzado con la fibra de vidrio.

a. En la Industria de la Construcción:

- Paneles de Fachada y cerramientos en general
- Sistemas modulares de vivienda
- Elementos para cubiertas
- Decoración de interiores
- Piscinas
- Pavimentos
- Revestimiento de Túneles

b. En la protección contra el fuego:

- Puertas y pantallas anti fuego

- Conductos anti fuego
- c. En el aislamiento térmico:
 - Paneles para aislamiento térmico de edificios
 - Cámaras Frigoríficas
- d. En el control del ruido:
 - Barreras anti ruido en autopistas, carreteras y ferrocarril
 - Protección de maquinarias ruidosas.
- e. En la industria marítima:
 - Pontones, canales y boyas
 - Tanques para piscifactorías
- f. En la agricultura:
 - Comederos para animales
 - Elementos de drenajes
 - Suelo de granjas
 - Bebederos
- g. En el diseño:
 - Mobiliario urbano de todas clases
 - Escudos y adornos
 - Moldes
 - Elementos decorativos
 - Imitaciones a rocas en parques artificiales.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Una vez concluidos todos los ensayos detallados en el capítulo anterior, procedemos a tabular los resultados para tener una mejor visualización de los mismos y también realizamos gráficas para ver de una mejor manera su comportamiento.

5.1. RESUMEN DE RESULTADOS, RESISTENCIA DE CILINDROS A COMPRESIÓN

En la siguiente tabla se detallan las resistencias obtenidas a los 28 días.

RESISTENCIA f'c(28 días)	RELACION A/C	PROMEDIO	f'c característica
180 SIN FIBRA	0,585	226,84	224,01
180 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,585	281,87	277,33
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	251,26	242,15
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	239,83	235,08
210 SIN FIBRA	0,523	220,92	214,96
210 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,523	251,50	245,53
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	241,87	238,55
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	226,08	220,51
280 SIN FIBRA	0,435	335,48	330,22
280 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,435	324,18	319,41
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	342,19	336,35
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	300,77	292,85

Tabla 5-1. Datos obtenidos del ensayo a compresión. Fuente propia.

5.1.1. GRÁFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO, CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

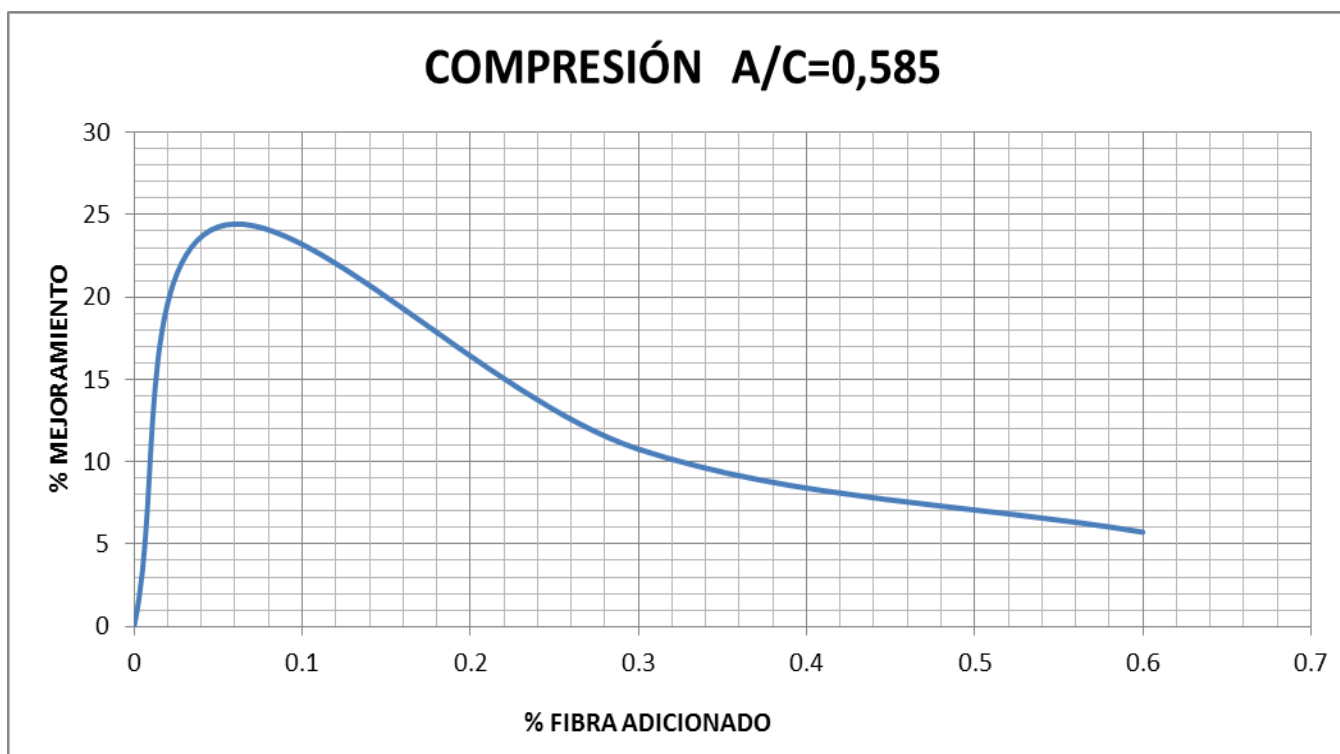


Ilustración 5-1. Porcentaje de mejora de fibra adicionada, en la relación a/c=0,585. Ensayo de compresión.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

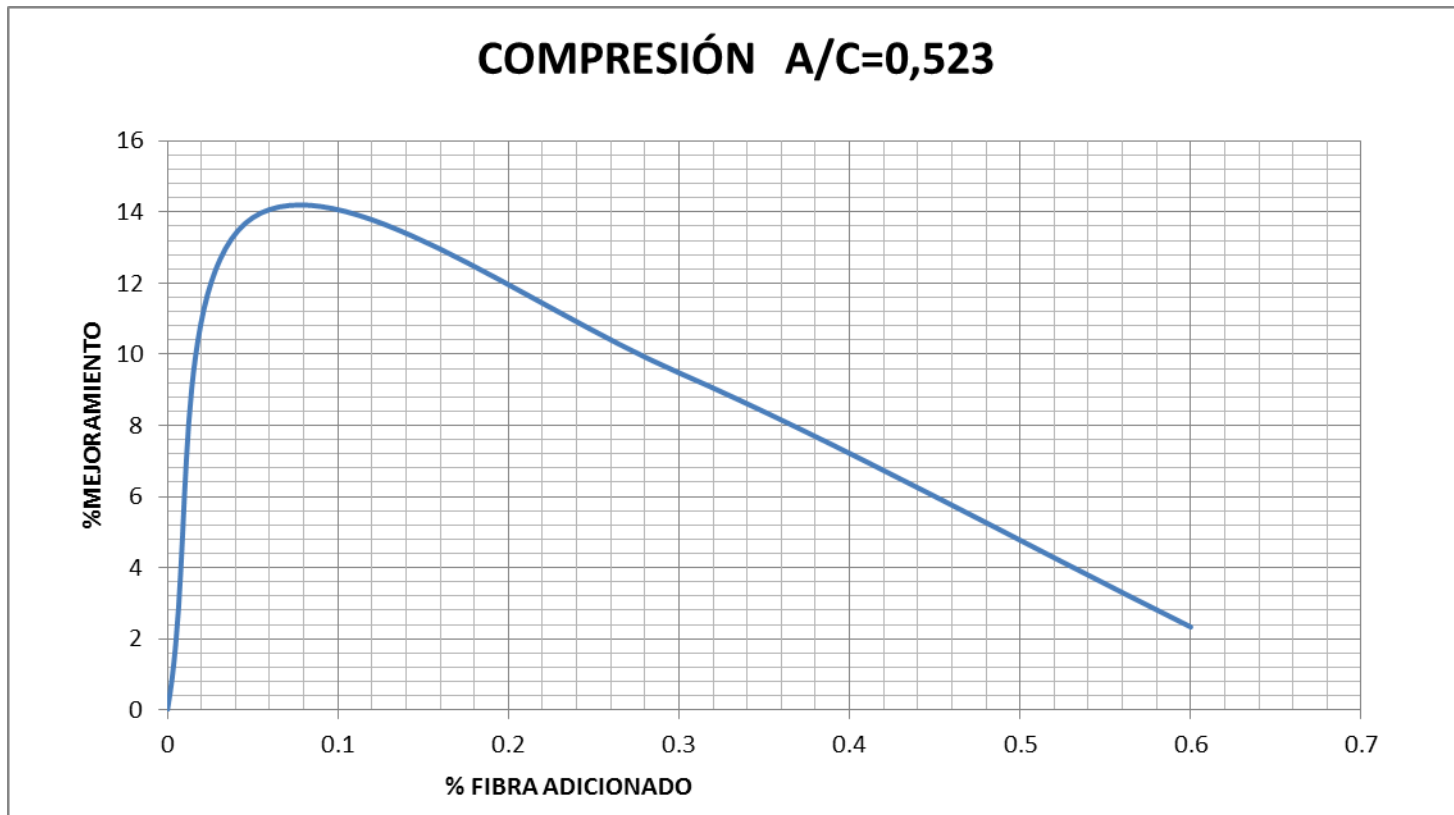


Ilustración 5-2. Porcentaje de mejora de fibra adicionada, en la relación a/c=0,523. Ensayo de compresión.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

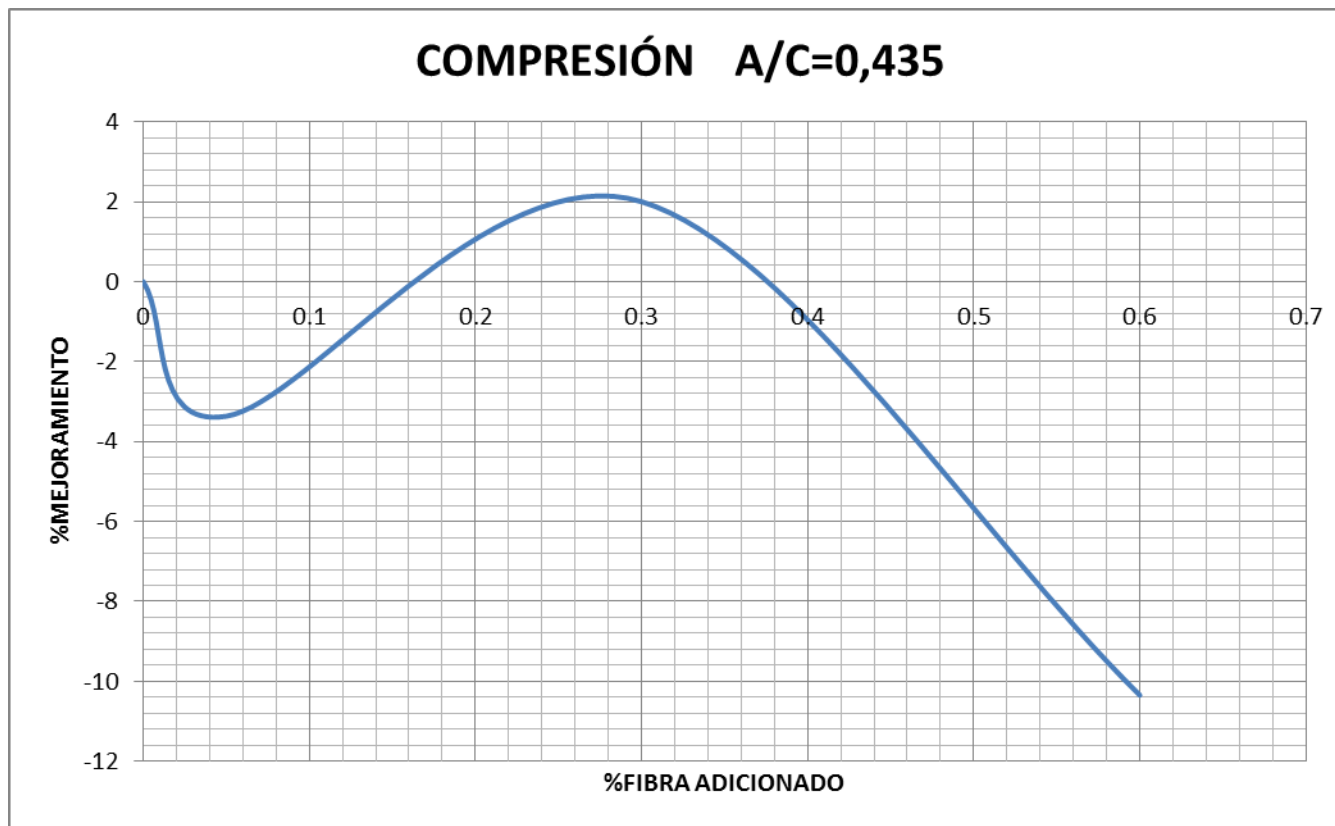


Ilustración 5-3. Porcentaje de mejora de fibra adicionada, en la relación a/c=0,435. Ensayo de compresión.

5.1.2. GRÁFICAS DE LA VARIACION DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

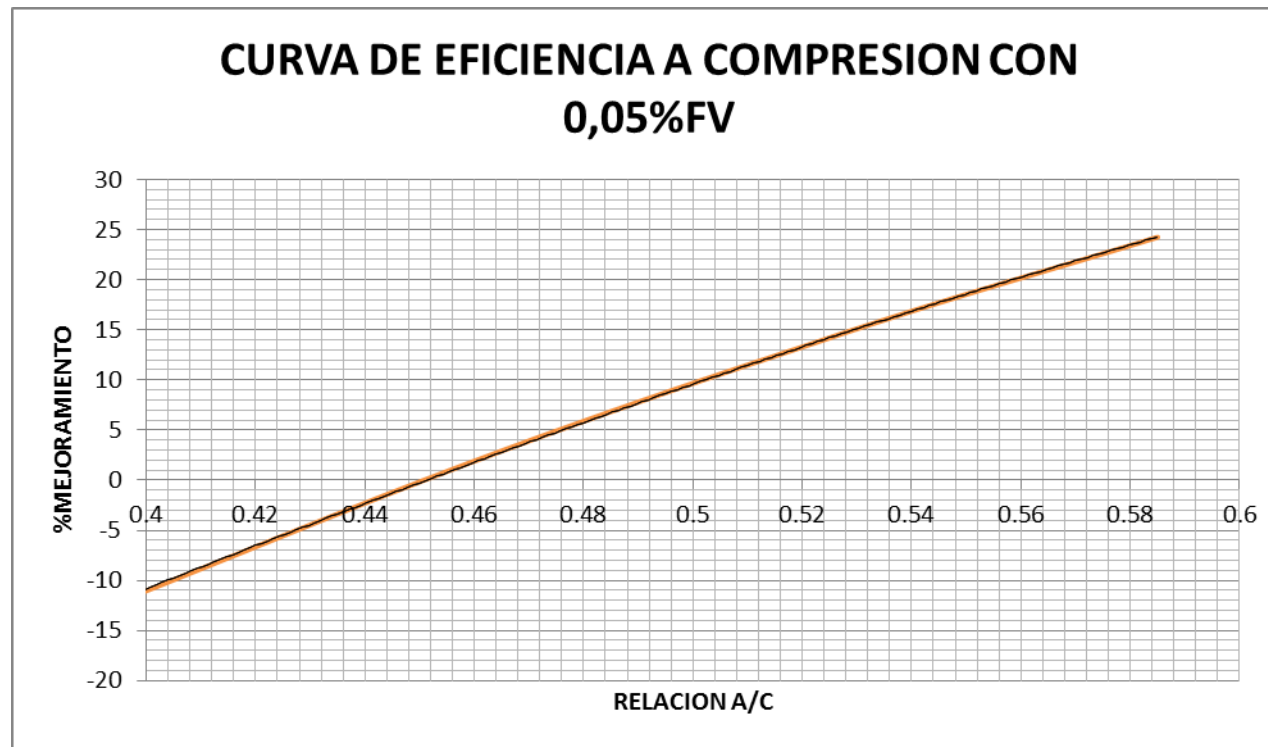


Ilustración 5-4. Variación de resistencias a compresión con respecto a la relación a/c, al usar 0,05% de fibra adicionado.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

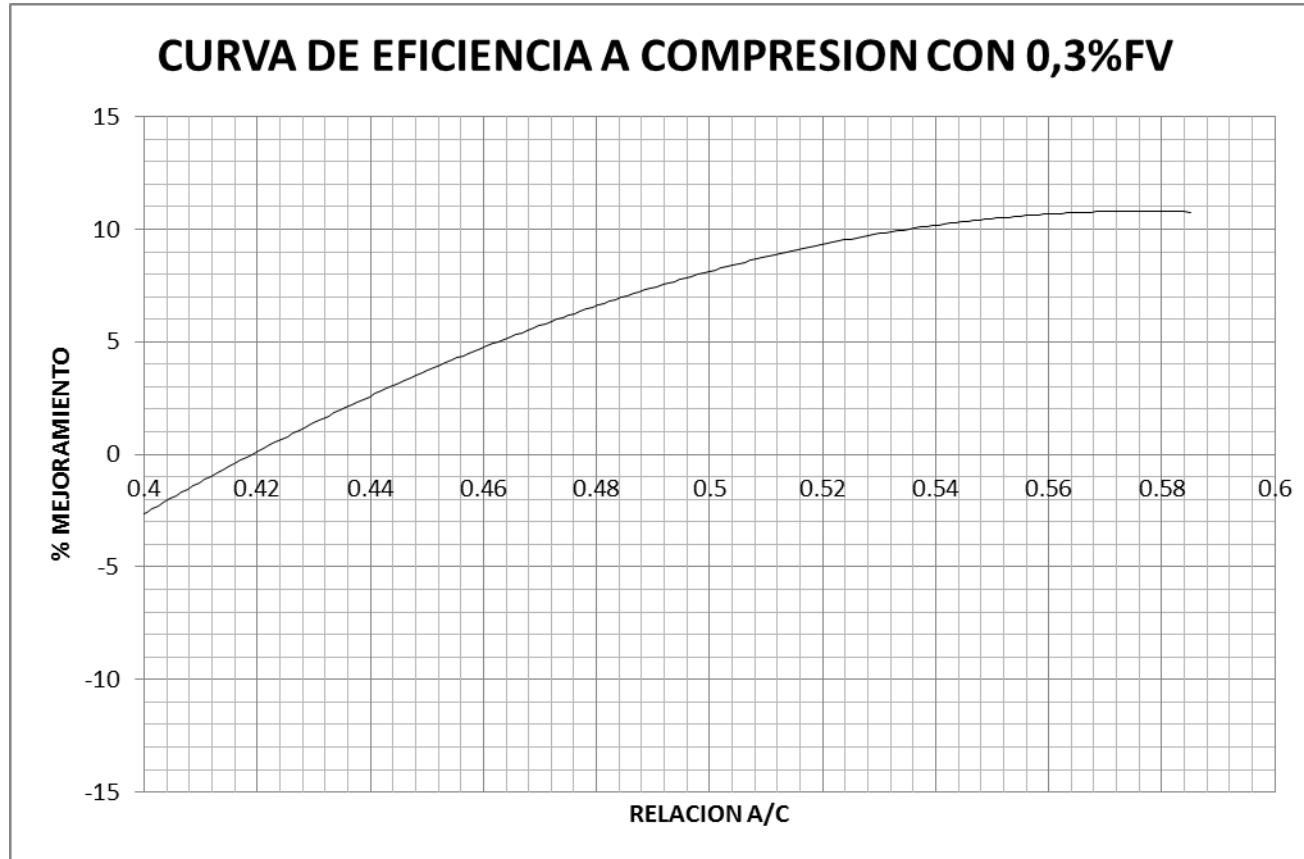


Ilustración 5-5. Variación de resistencias a compresión con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

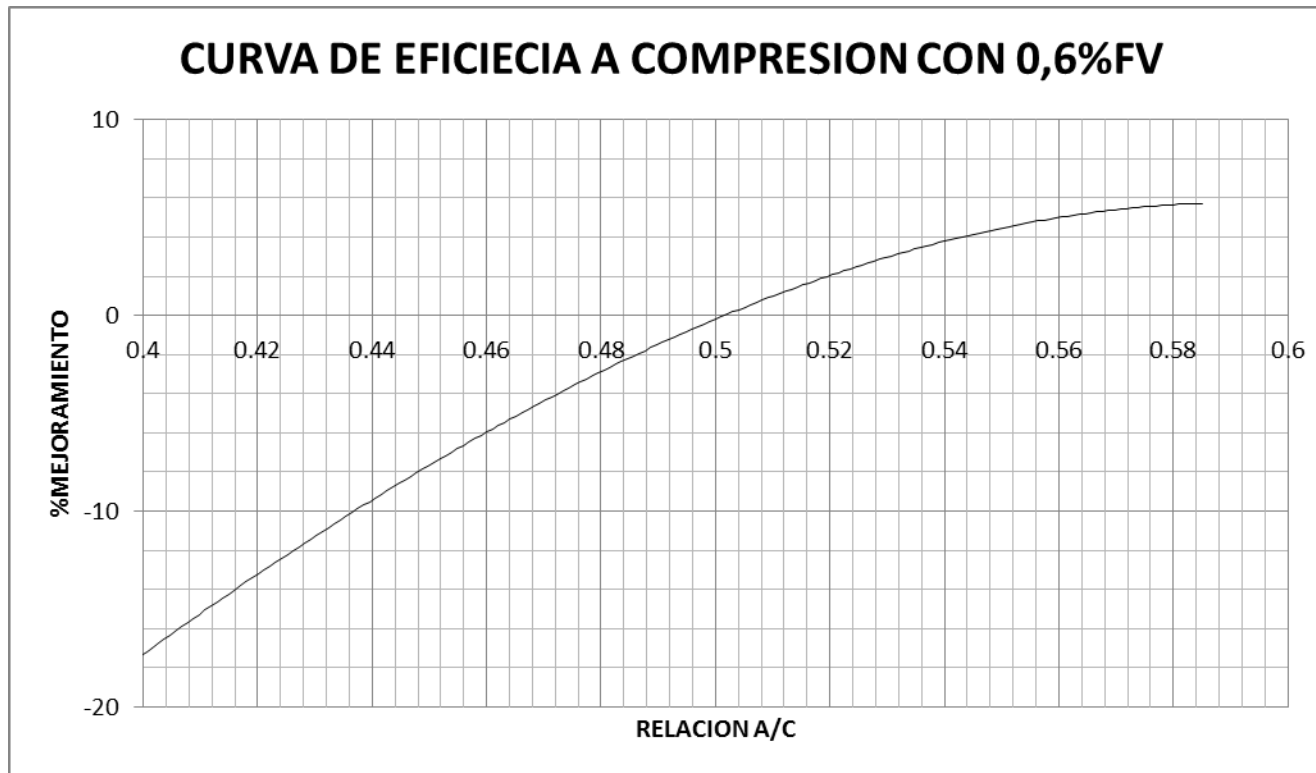


Ilustración 5-6. Variación de resistencias a compresión con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.

5.2. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGAS

En el siguiente cuadro se detallan los módulos de rotura obtenidos en el ensayo de flexión de vigas.

RESISTENCIA	RELACION A/C	MODULO DE ROTURA kg/cm²
180 SIN FIBRA	0,585	35,21
180 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,585	47,02
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	43,92
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	46,45
210 SIN FIBRA	0,523	35,26
210 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,523	46,31
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	46,55
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	50,49
280 SIN FIBRA	0,435	52,80
280 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,435	46,74
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	54,96
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	49,14

Tabla 5-2. Datos del ensayo de flexión de vigas. Fuente propia.

5.2.1. GRÁFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACION DE ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

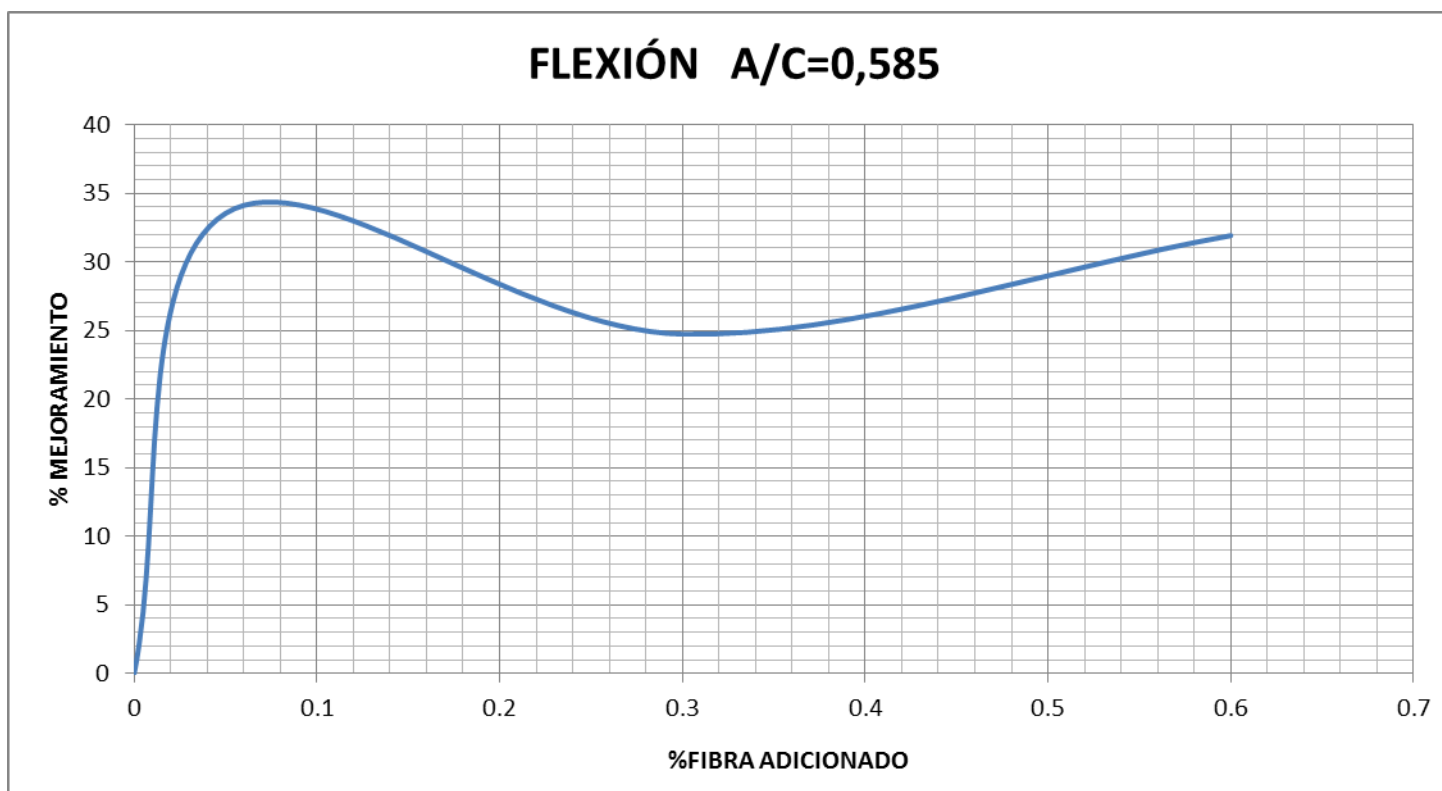


Ilustración 5-7. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,585. Ensayo de flexión.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

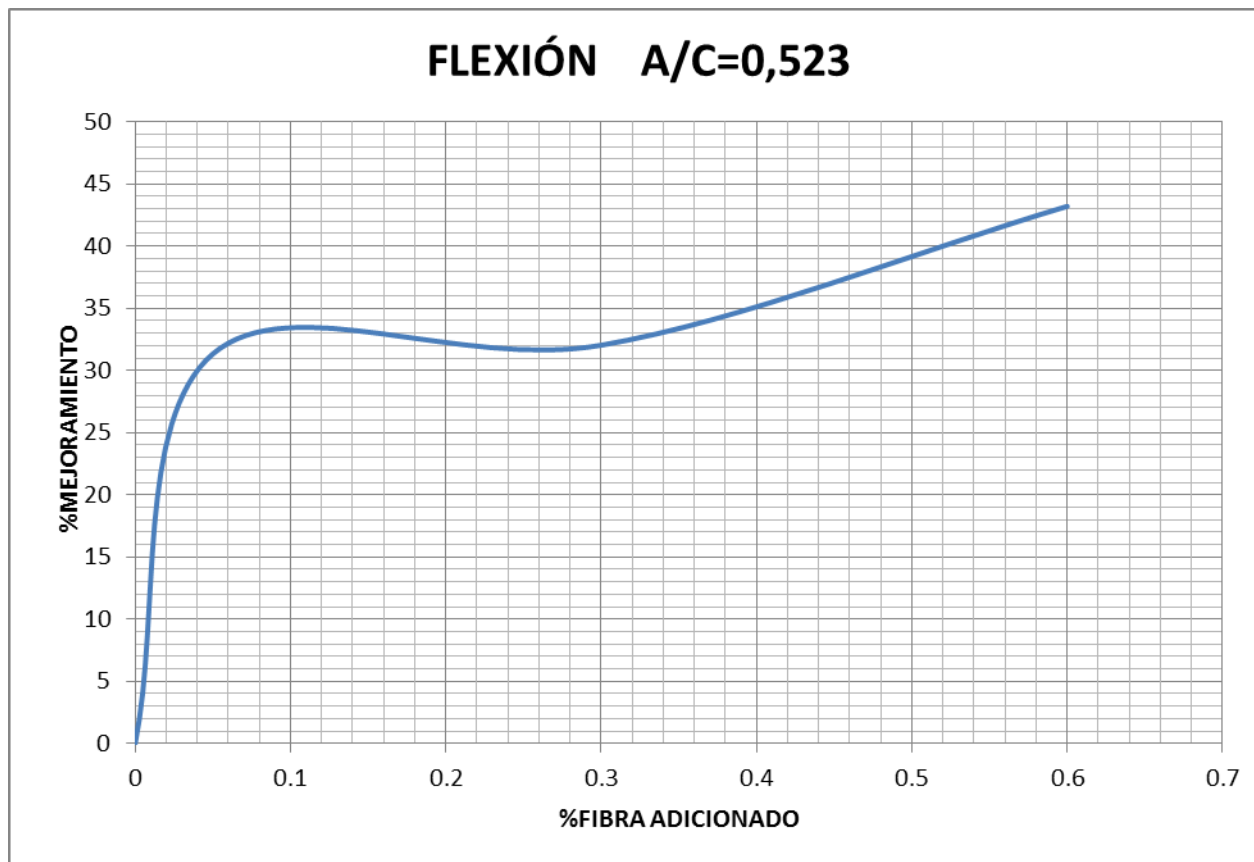


Ilustración 5-8. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,523. Ensayo de flexión.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

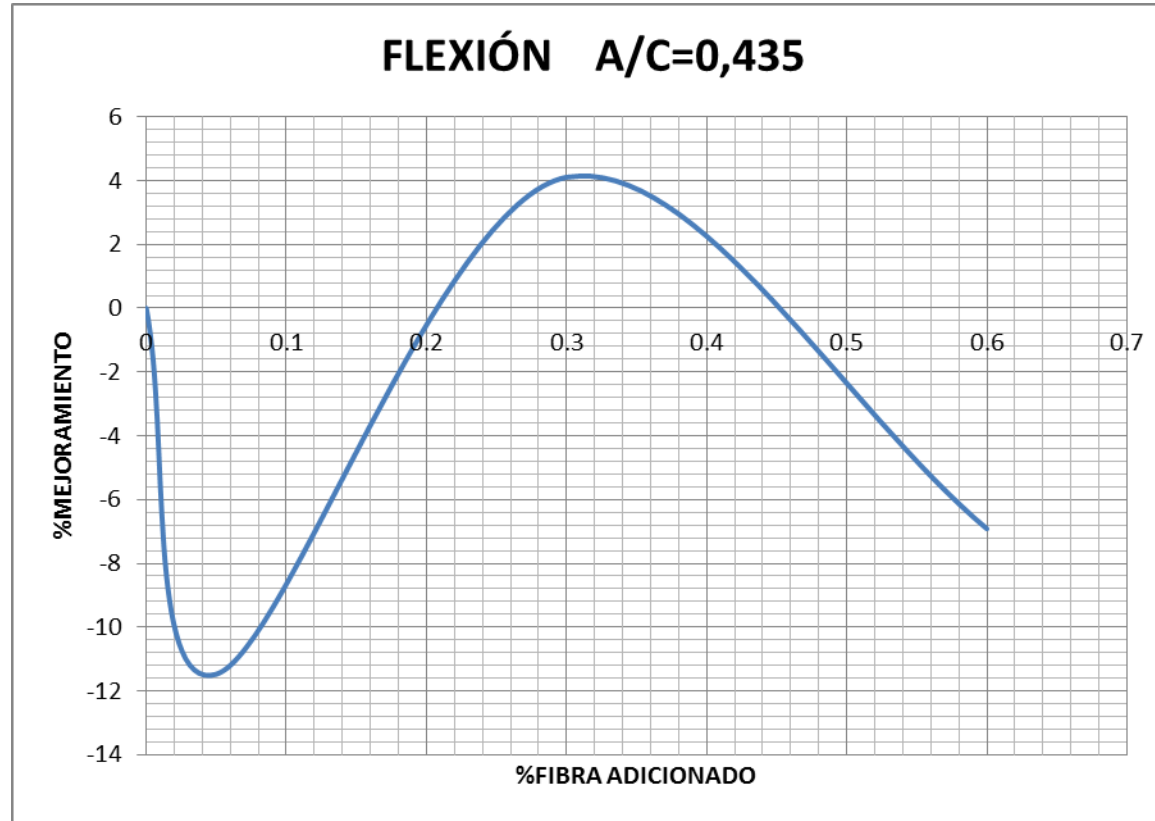


Ilustración 5-9. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,435. Ensayo de flexión.

5.2.2 GRÁFICAS DE LA VARIACIÓN DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

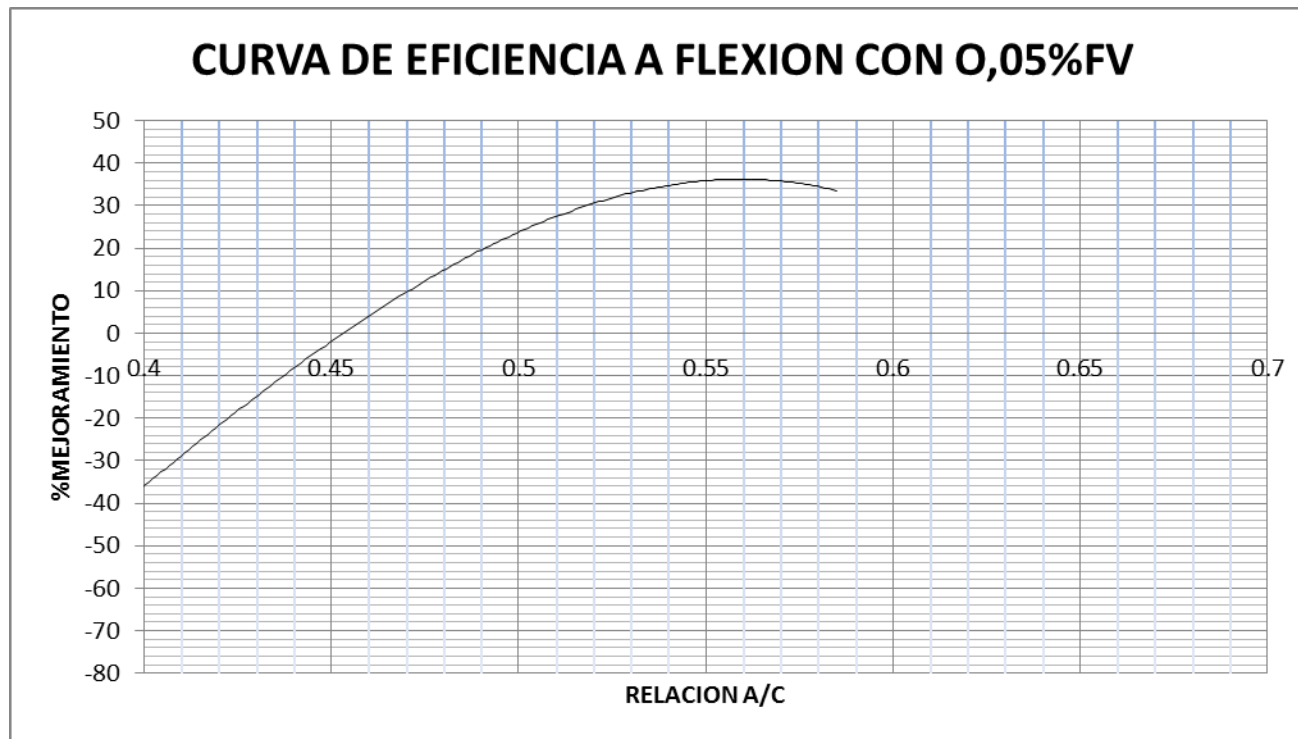


Ilustración 5-10. Variación de resistencias a flexión con respecto a la relación a/c, al usar 0,05% de fibra adicionado.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

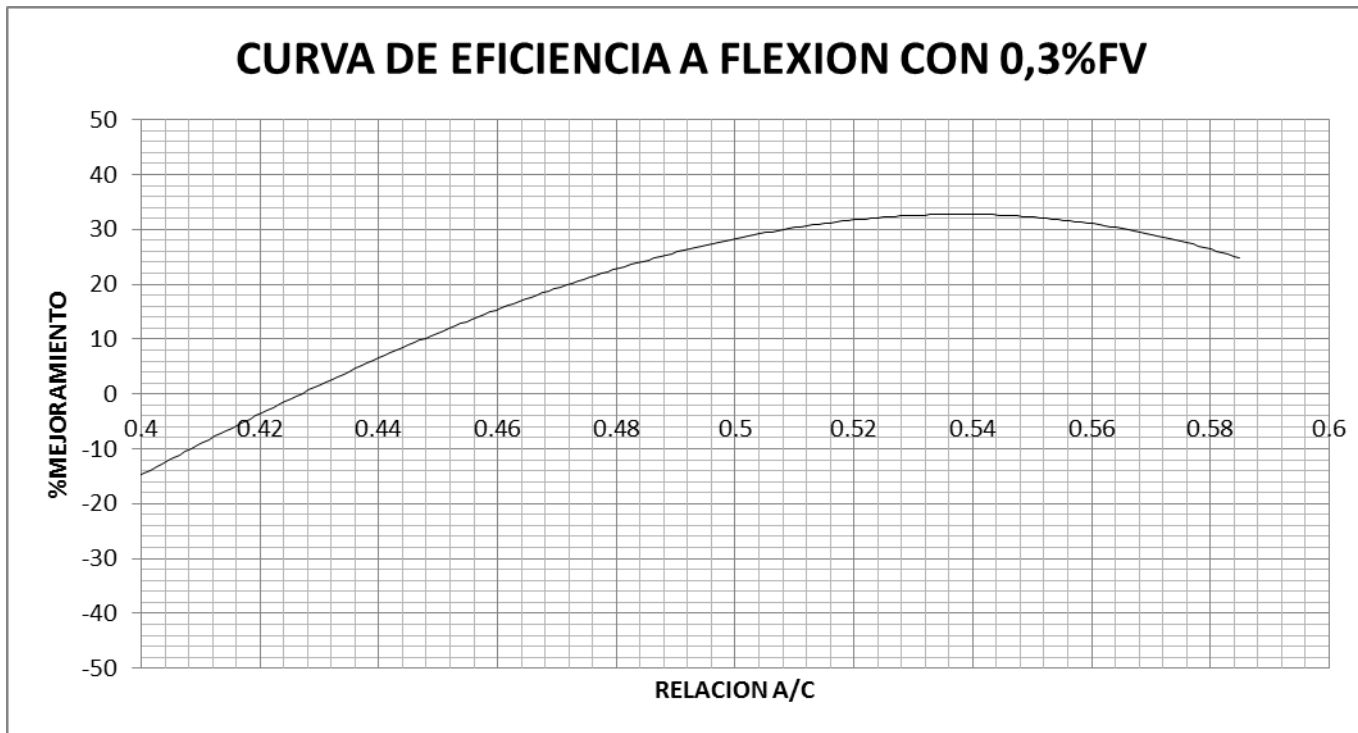


Ilustración 5-11. Variación de resistencias a flexión con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

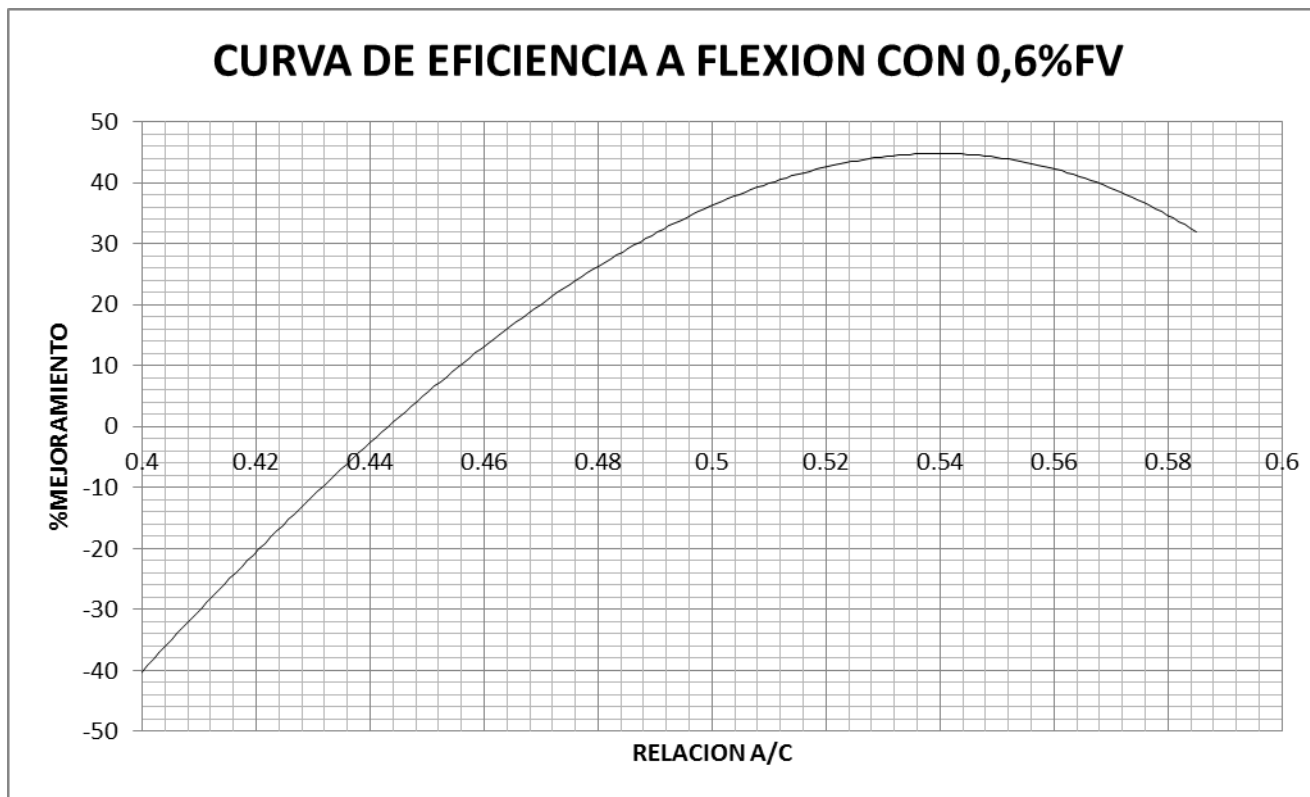


Ilustración 5-12. Variación de resistencias a flexión con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.

5.3. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO TRACCIÓN DE CILINDROS

En la siguiente tabla se detallan los resultados de resistencia a la tracción obtenidos del ensayo Brasilerero.

RESISTENCIA	RELACION A/C	RESISTENCIA kg/cm²
180 SIN FIBRA	0,585	28,35
180 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,585	30,75
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	31,00
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	33,02
210 SIN FIBRA	0,523	25,30
210 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,523	28,07
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	30,88
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	32,88
280 SIN FIBRA	0,435	40,01
280 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,435	34,45
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	37,98
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	36,74

Tabla 5-3. Datos obtenidos del ensayo a tracción

5.3.1. GRÁFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE ADICCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

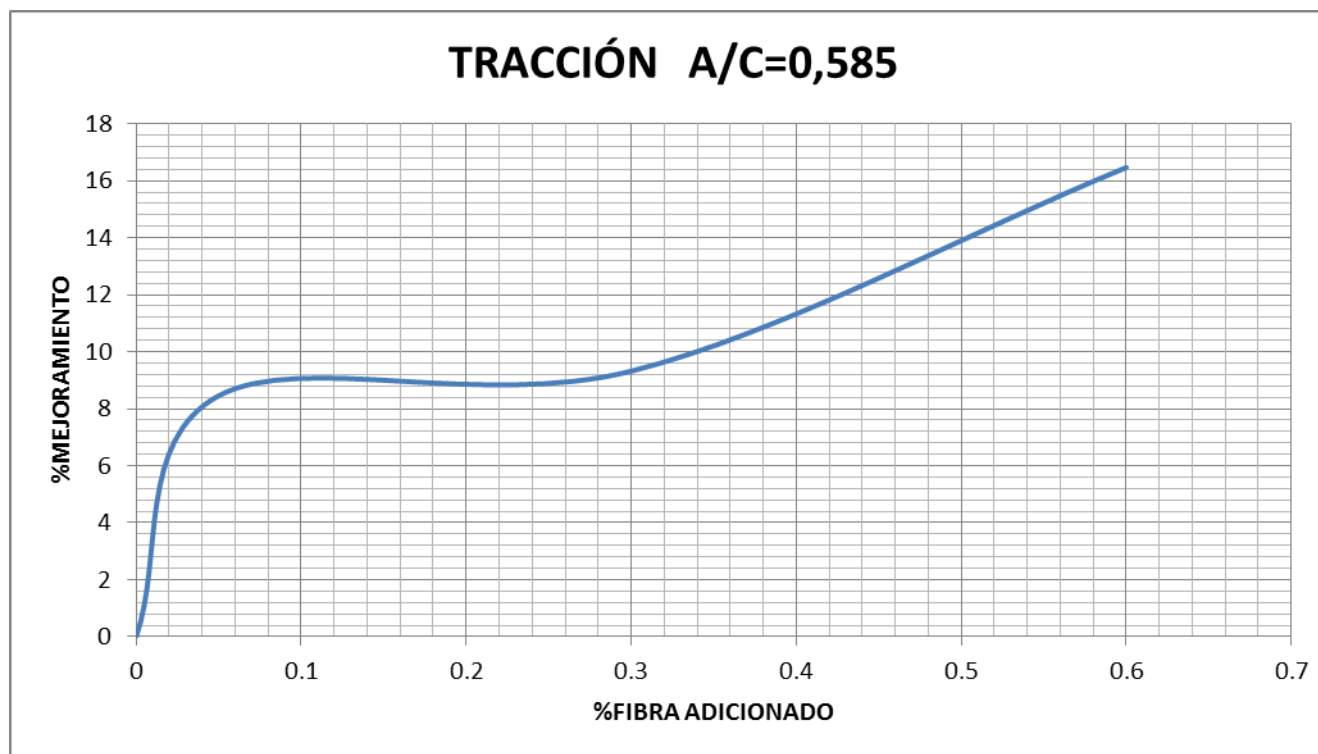


Ilustración 5-13. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,585. Ensayo de tracción.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

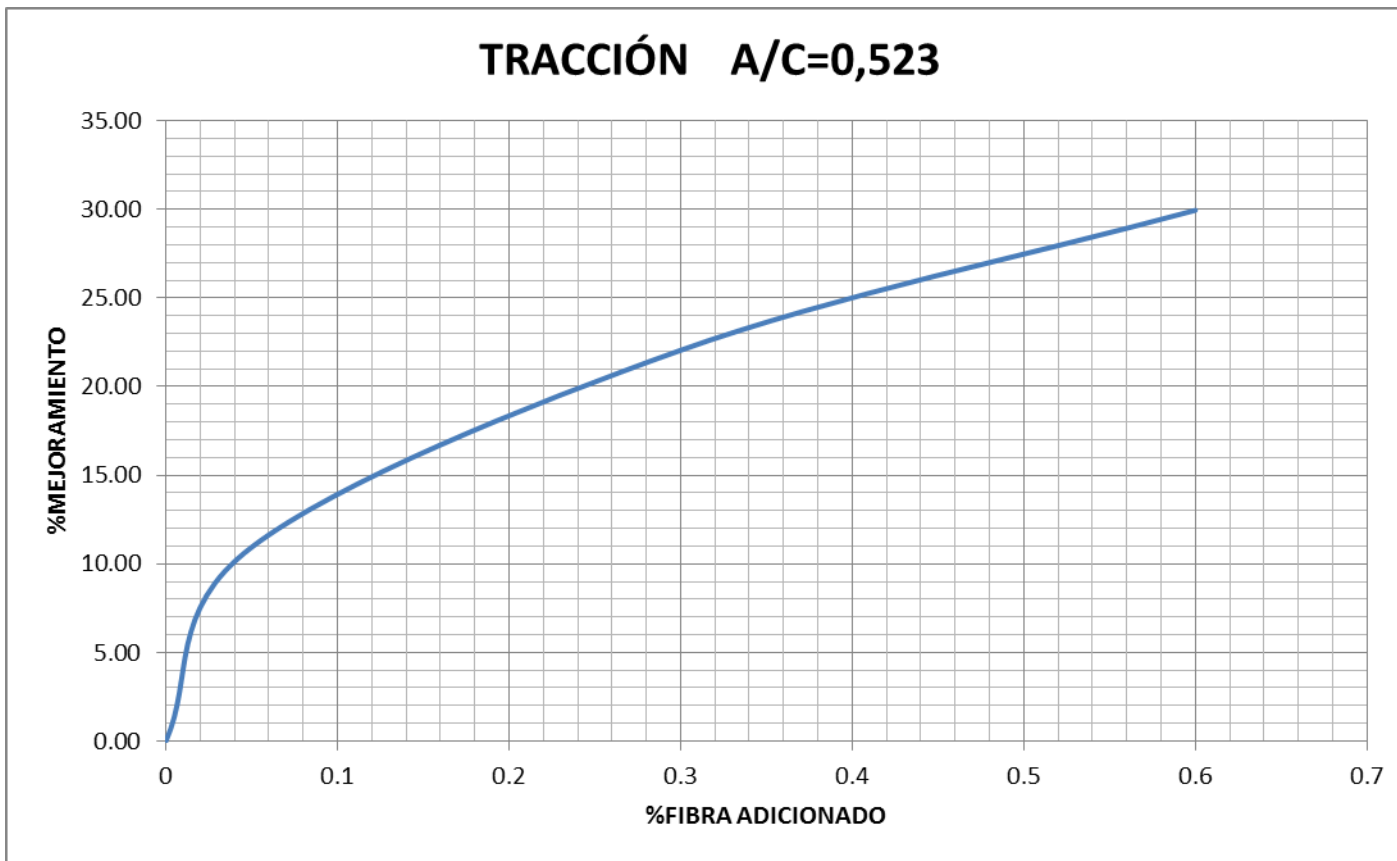


Ilustración 5-14. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,523. Ensayo de tracción.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

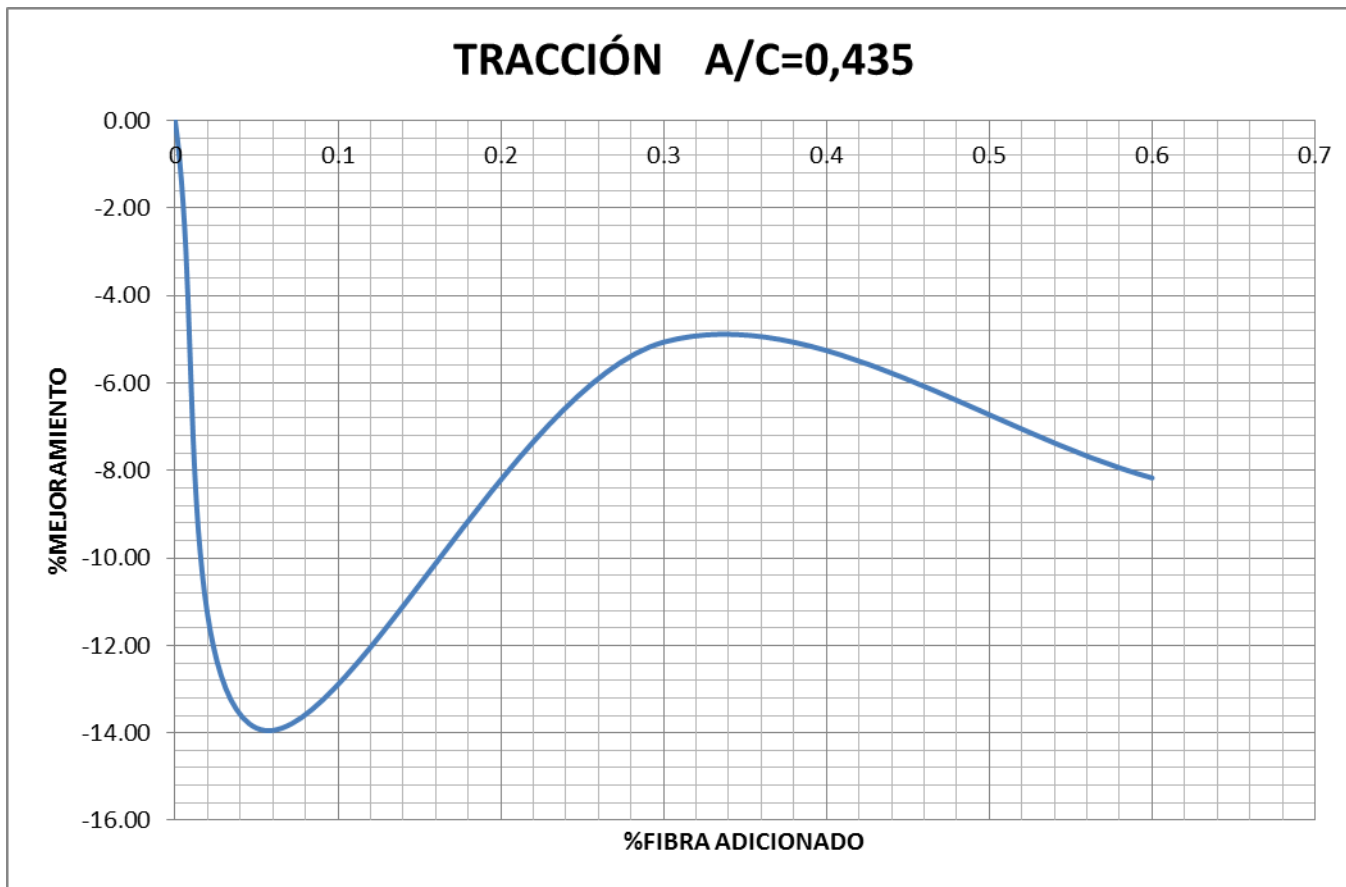


Ilustración 5-15. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,435. Ensayo de tracción.

5.3.2. GRÁFICAS DE LA VARIACIÓN DE RESISTENCIAS CON LA RELACIÓN A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

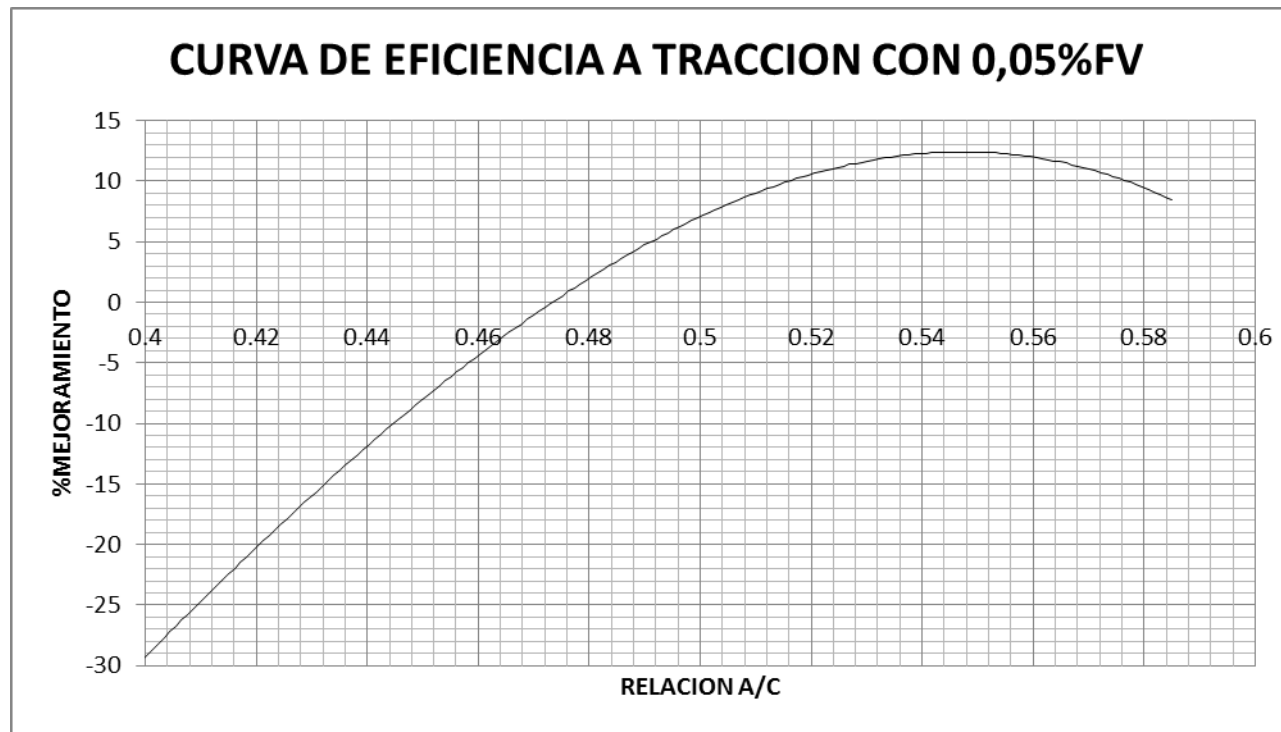


Ilustración 5-16. Variación de resistencias a tracción con respecto a la relación a/c, al usar 0,05% de fibra adicionado.

En la siguiente gráfica se observa como varía el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

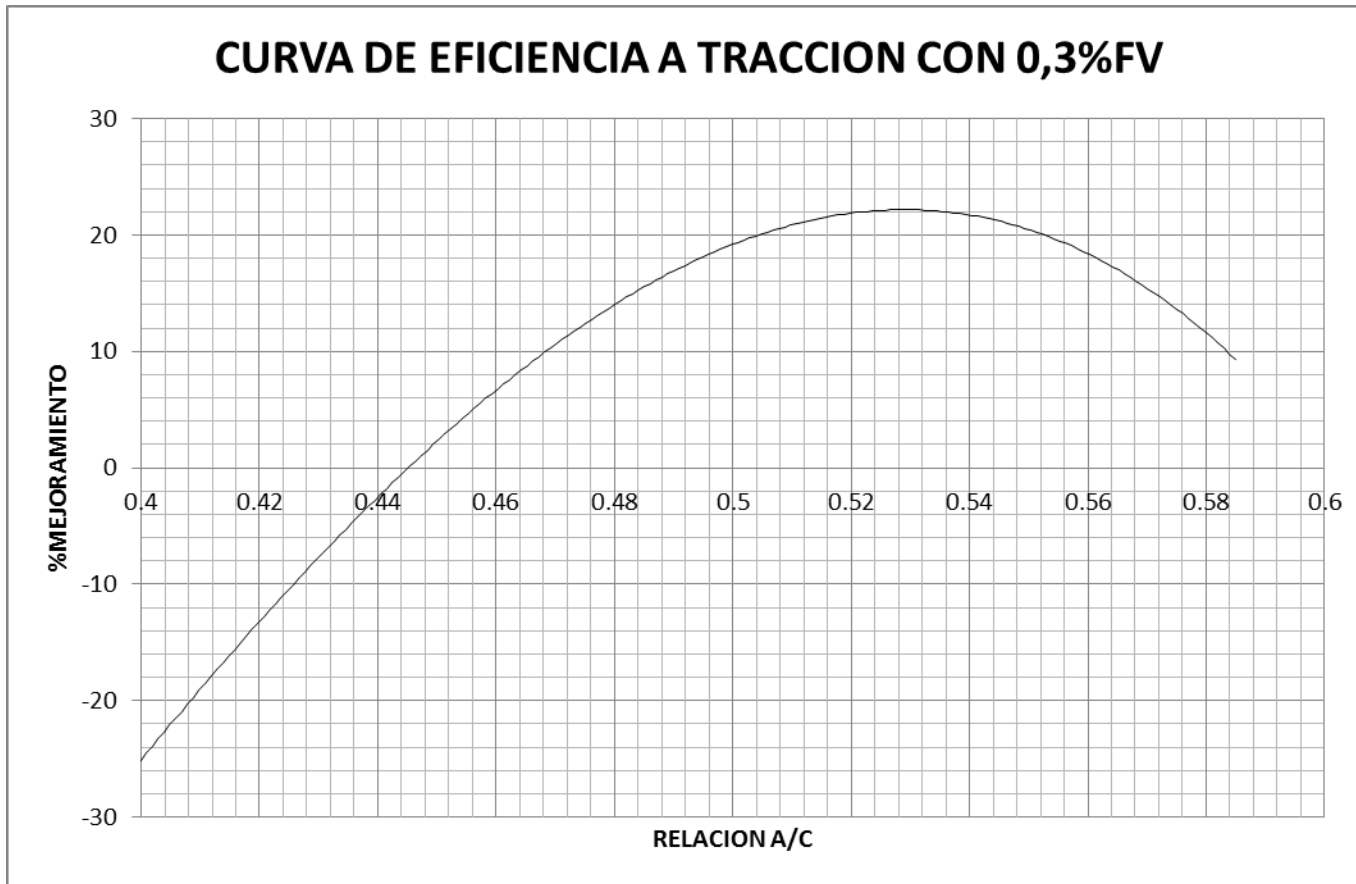


Ilustración 5-17. Variación de resistencias a tracción con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.

En la siguiente gráfica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

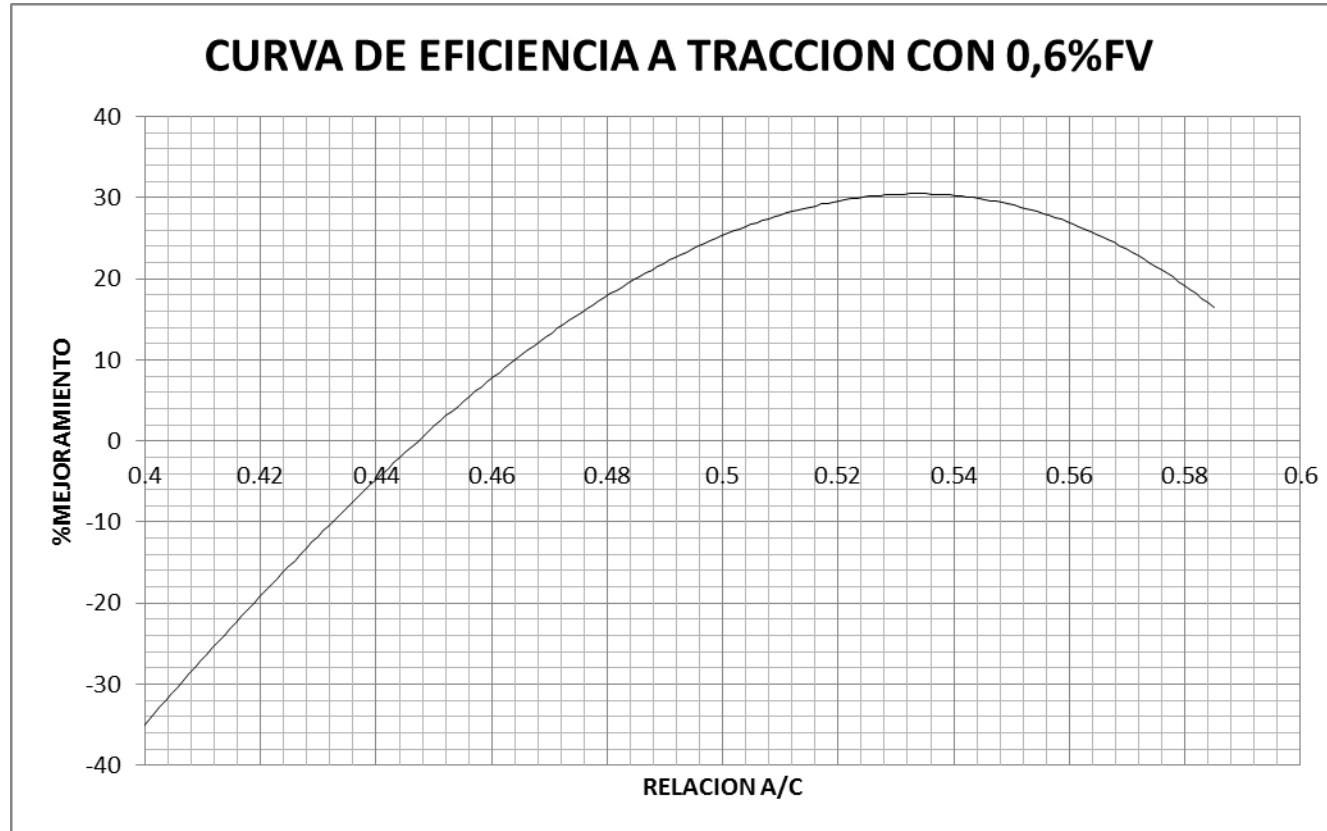


Ilustración 5-18. Variación de resistencias a tracción con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.

5.4. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD

En el siguiente cuadro se encuentran los valores obtenidos del ensayo de módulo de elasticidad en donde se puede apreciar las diferentes cantidades.

RESISTENCIA f'c (28 días)	RELACION A/C	PROMEDIO	α
180 SIN FIBRA	0,585	176277,44	13138,94
180 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,585	211389,54	15756,05
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	194432,40	14492,14
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	187620,28	13984,39
210 SIN FIBRA	0,523	180998,93	12490,11
210 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,523	187340,35	12927,71
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	198747,40	13714,87
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	208631,07	14396,91
280 SIN FIBRA	0,435	205834,48	12300,96
280 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,435	197228,46	11786,65
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	189144,90	11303,57
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	173753,97	10383,79

Tabla 5-4. Datos obtenidos en el ensayo de módulo de elasticidad. Fuente propia.

El valor de α corresponde a la relación entre el módulo de elasticidad y la raíz cuadrada de su resistencia a compresión a los 28 días.

$$\alpha = \frac{\text{Mod. Elasticidad}}{\sqrt{f'c}} \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

5.4.1 GRAFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACION DE ADICION DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de incremento en el módulo de elasticidad es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

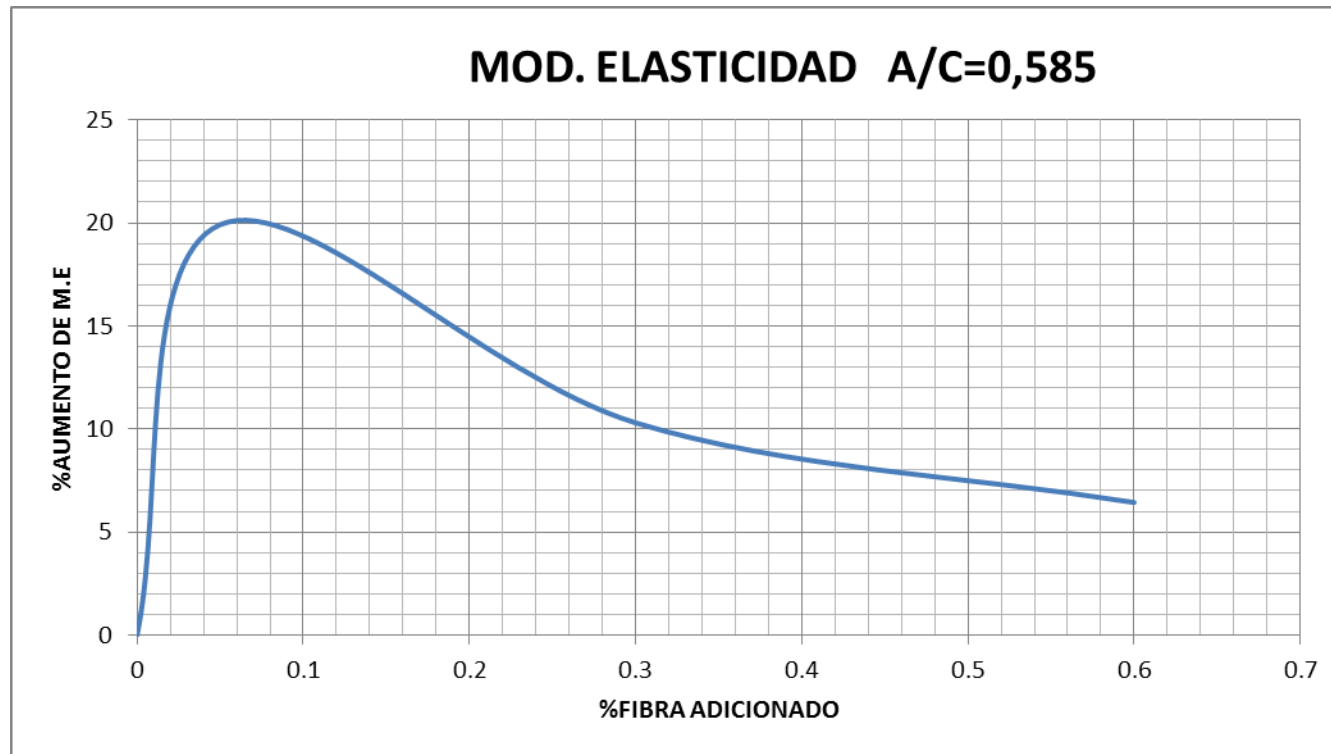


Ilustración 5-19. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,585. Ensayo de módulos elasticidad.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de incremento en el módulo de elasticidad es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

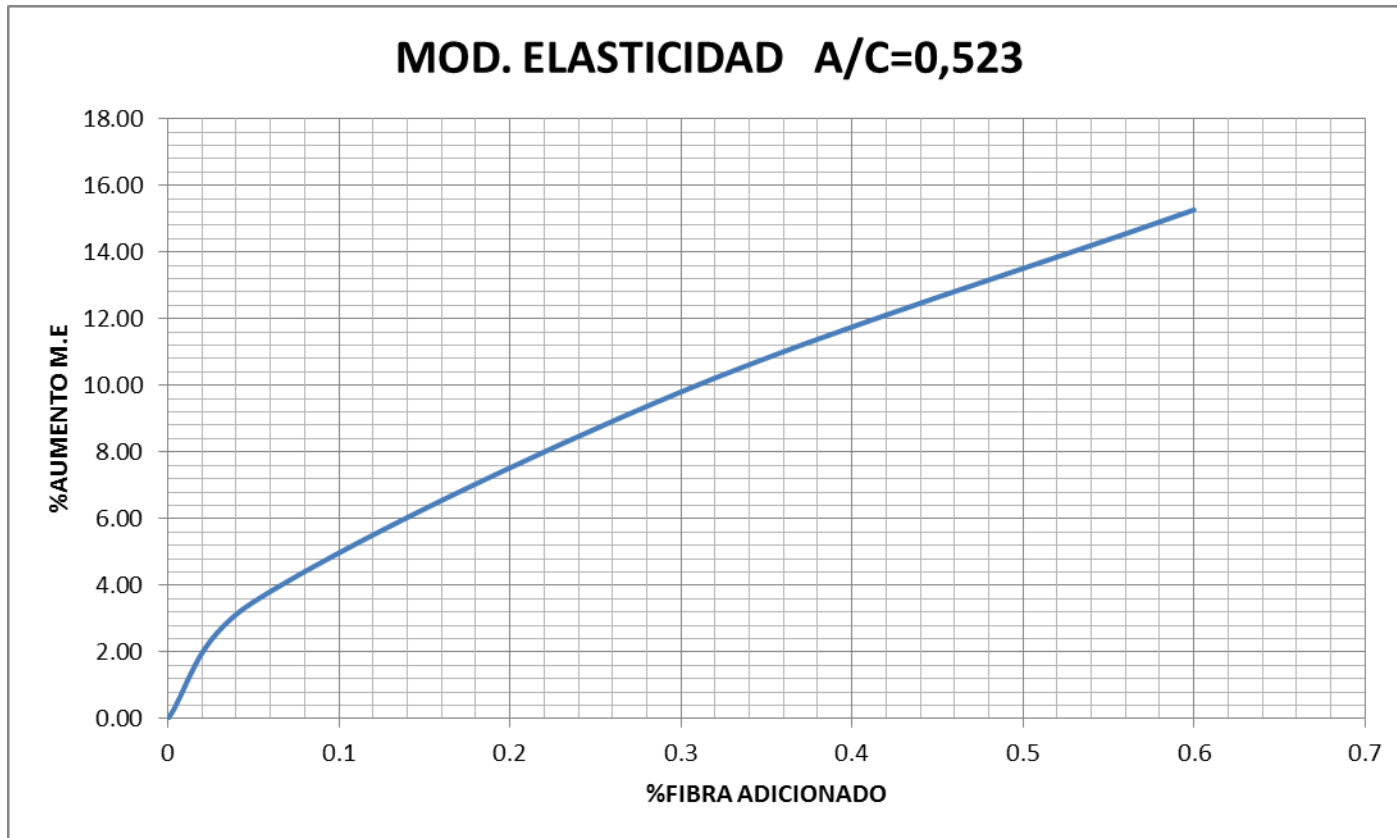


Ilustración 5-20. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,523. Ensayo de módulos elasticidad.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de incremento en el módulo de elasticidad es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

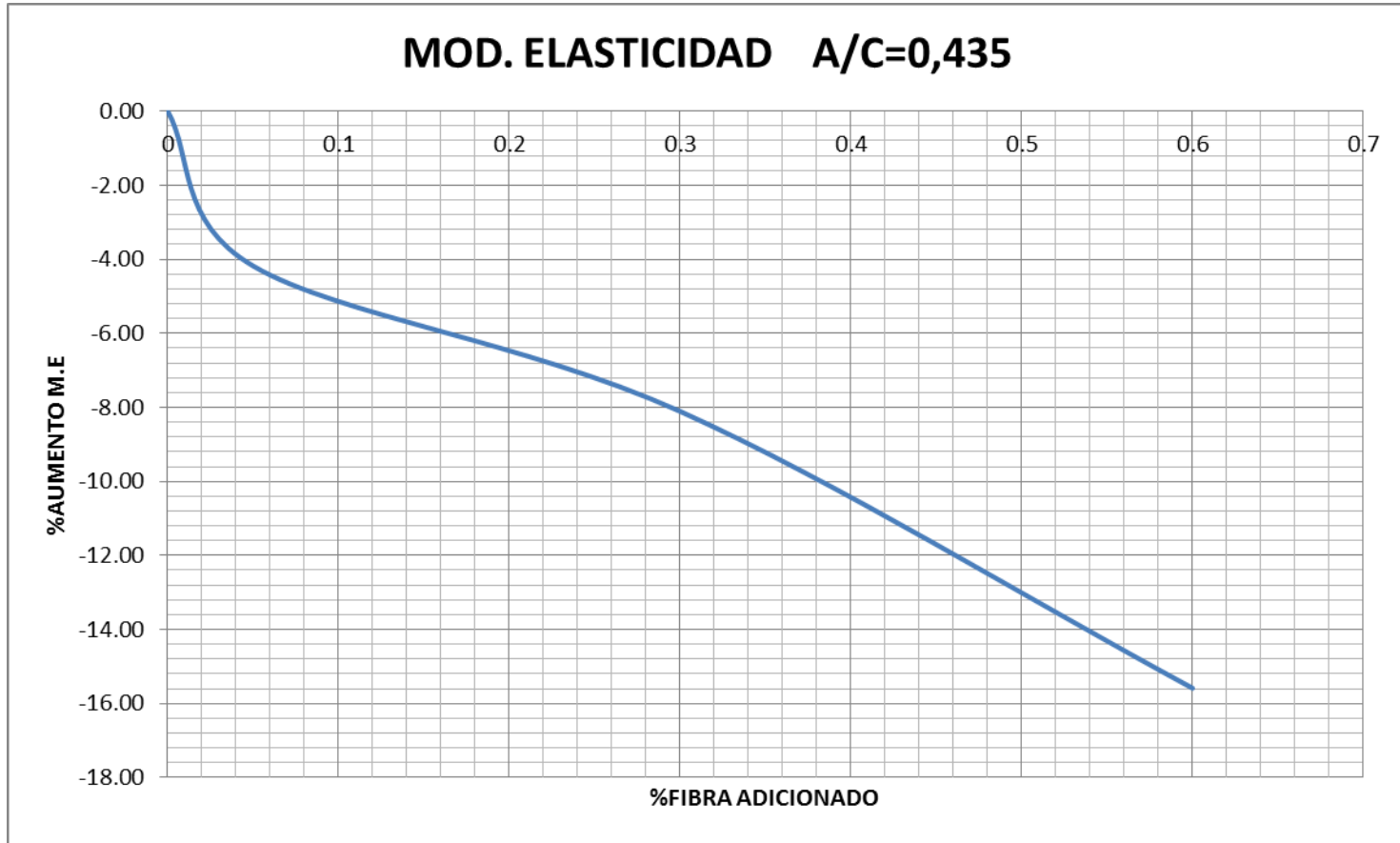


Ilustración 5-21. Porcentaje de mejora de fibra adicionada en la relación a/c=0,435. Ensayo de módulos elasticidad.

5.4.2. GRAFICAS DE LA VARIACION DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.

En la siguiente grafica se observa como varia el módulo de elasticidad a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de incremento en el módulo de elasticidad es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

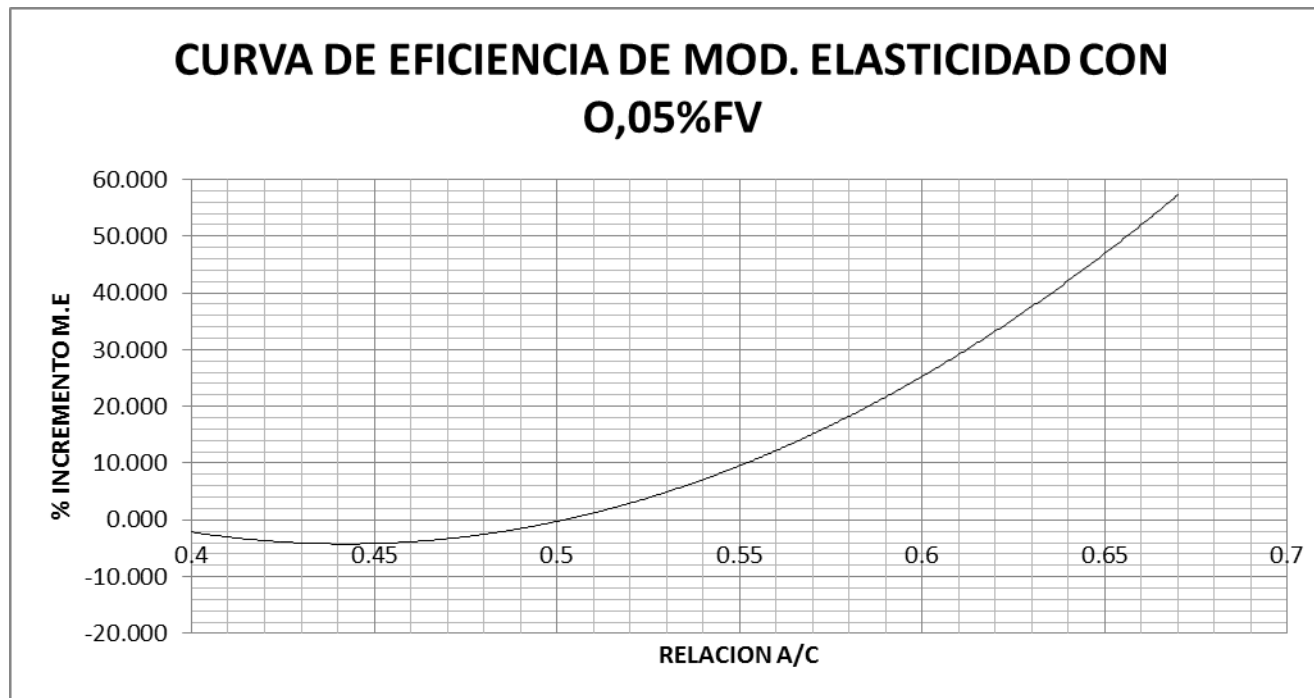


Ilustración 5-22. Variación de módulos de elasticidad con respecto a la relación a/c, al usar 0,05% de fibra adicionado.

En la siguiente grafica se observa como varia el módulo de elasticidad a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de incremento en el módulo de elasticidad es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

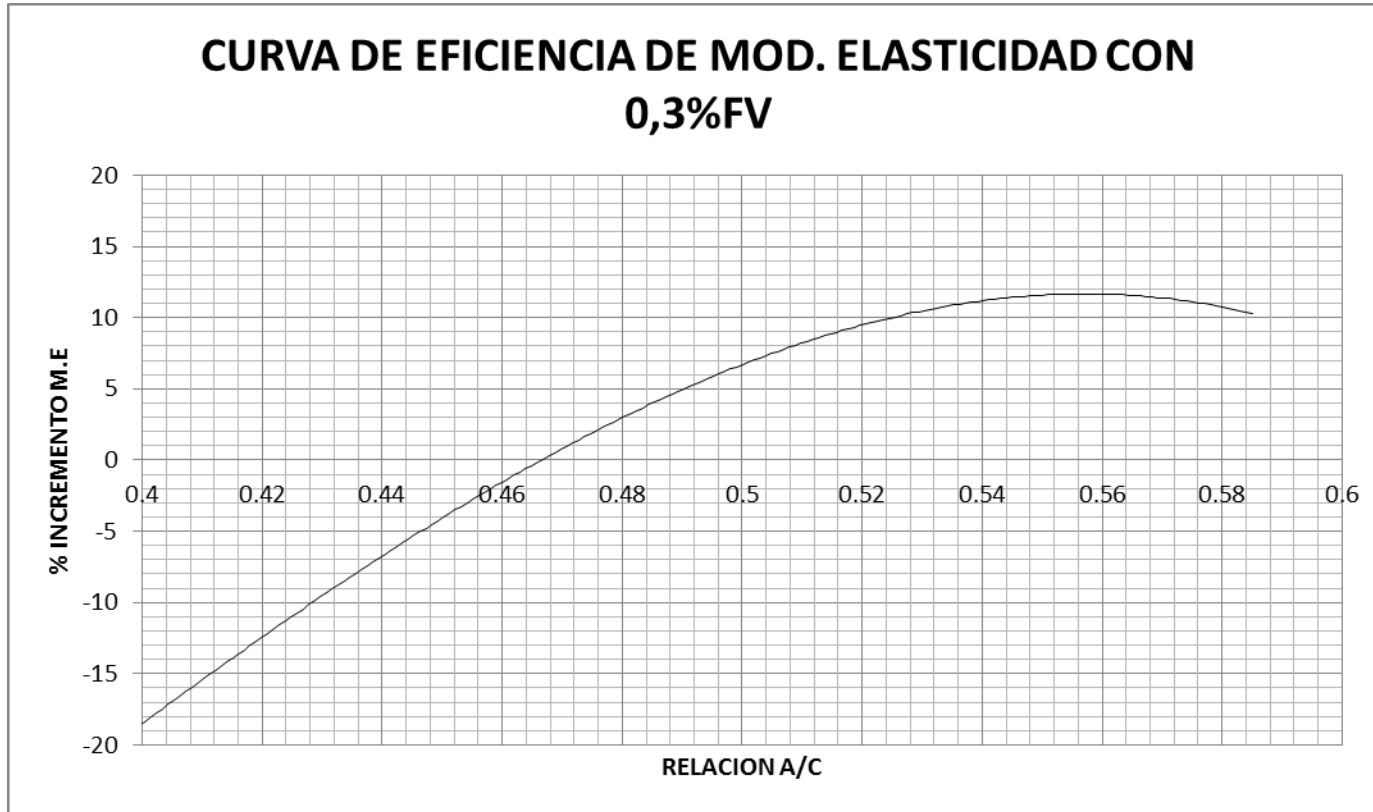


Ilustración 5-23. Variación de módulos de elasticidad con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.

En la siguiente grafica se observa como varia el módulo de elasticidad a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de incremento en el módulo de elasticidad es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

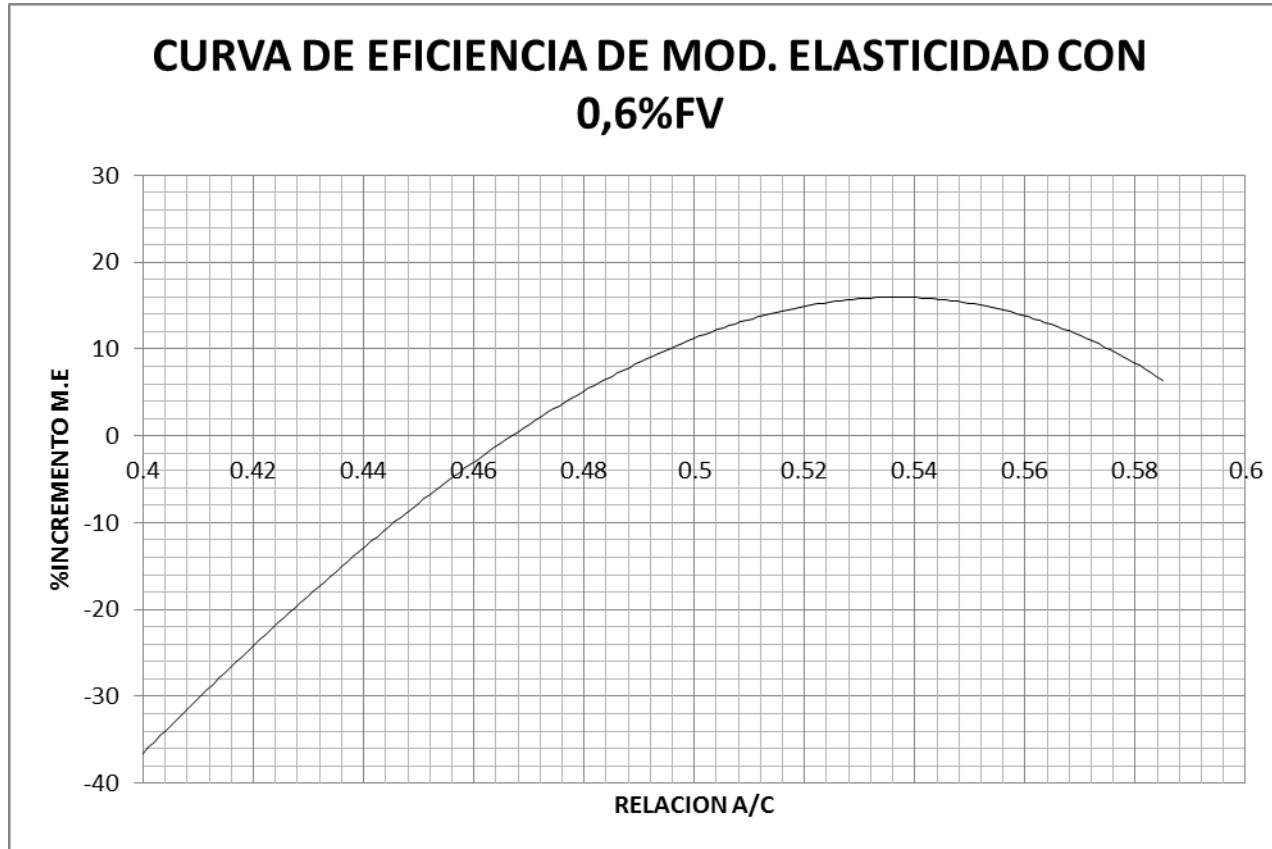


Ilustración 5-24. Variación de módulos de elasticidad con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.

5.5. RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYO DE IMPACTO

En la siguiente tabla se encuentran los valores obtenidos tras realizar el ensayo de impacto, como son el número de golpes a los cuales fallo la muestra y también la energía de impacto.

RESISTENCIA f'c(28 días)	RELACION A/C	PROMEDIO #GOLPES	PROMEDIO ENERGIA DE IMPACTO
180 SIN FIBRA	0,585	10,8	238,51
180 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,585	36,4	803,87
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	39,8	878,96
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	49,8	1099,80
210 SIN FIBRA	0,523	19	428,44
210 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,523	28	627,2
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	41	909,9
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	60	1325,1
280 SIN FIBRA	0,435	30	671,36
280 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,435	27	600,69
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	79	1744,66
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	156	3445,16

Tabla 5-5. Datos obtenidos en el ensayo de impacto. Fuente propia.

5.5.1. GRAFICAS DEL PORCENTAJE DE VARIACION DE ADICCION DE FIBRA DE VIDRIO CON RESPECTO A LAS RELACIONES A/C ENSAYADAS, EN EL ENSAYO DE IMPACTO.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

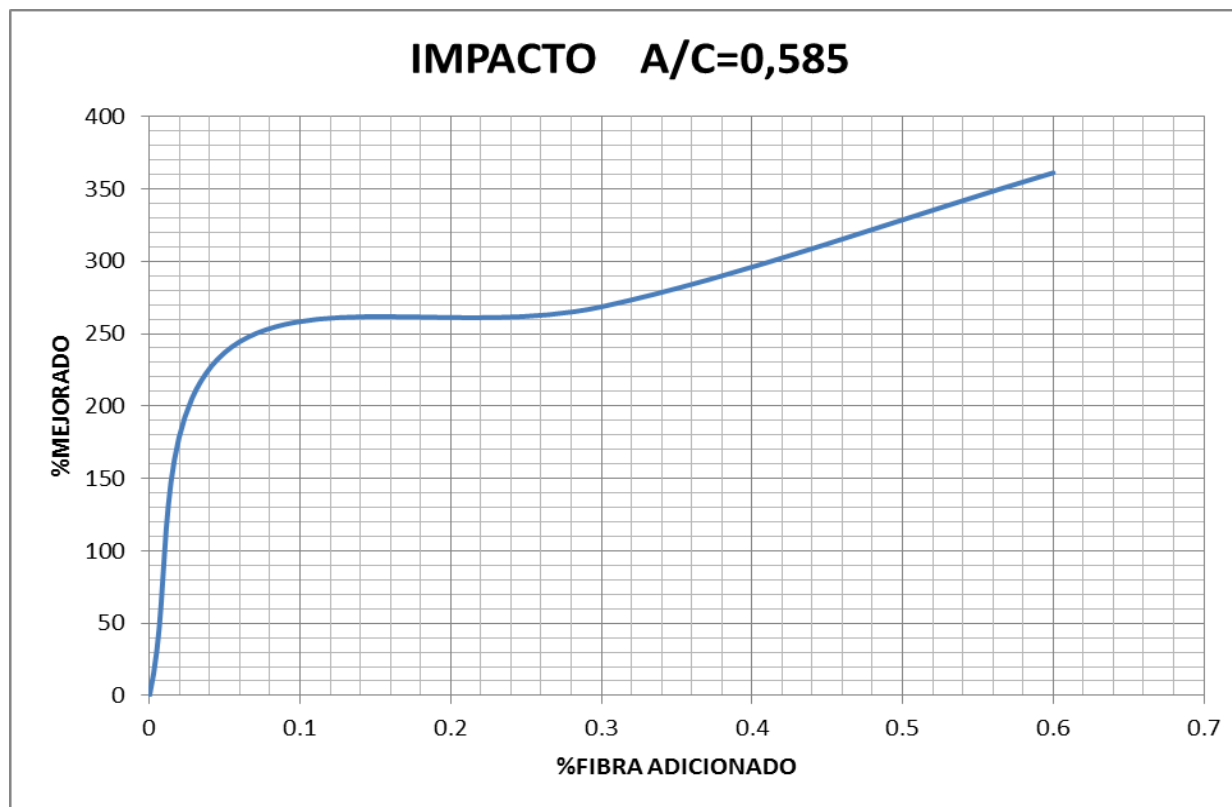


Ilustración 5-25. Variación del Porcentaje de fibra adicionado con la relación a/c=0,585. En el ensayo de impacto.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

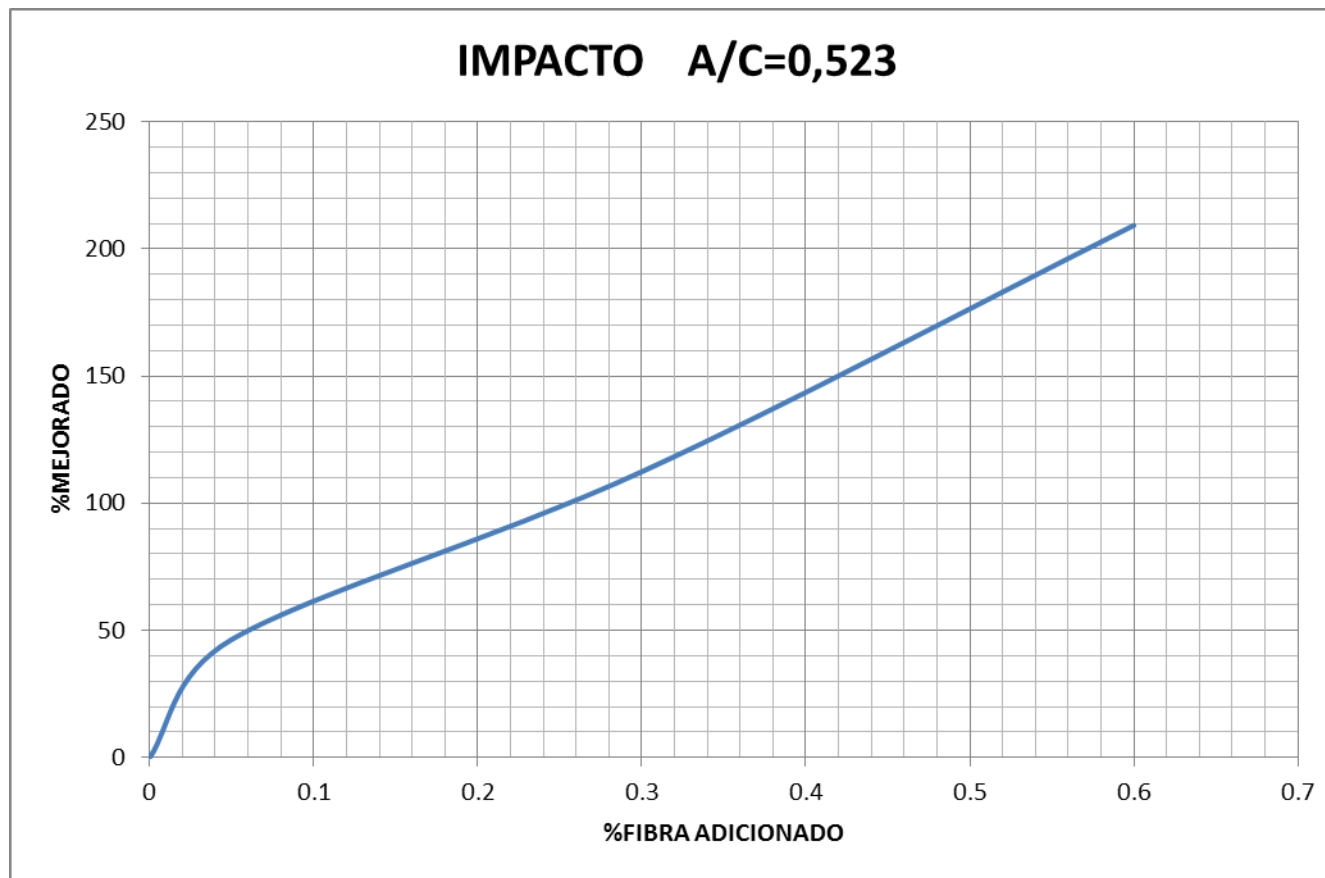


Ilustración 5-26. Variación del Porcentaje de fibra adicionado con la relación a/c=0,523. En el ensayo de impacto.

En esta grafica se puede observar el comportamiento del hormigón con los diferentes porcentajes de fibra adicionados. Teniendo en cuenta que el porcentaje de mejoramiento es con relación a la resistencia obtenida de las muestras sin fibra de vidrio.

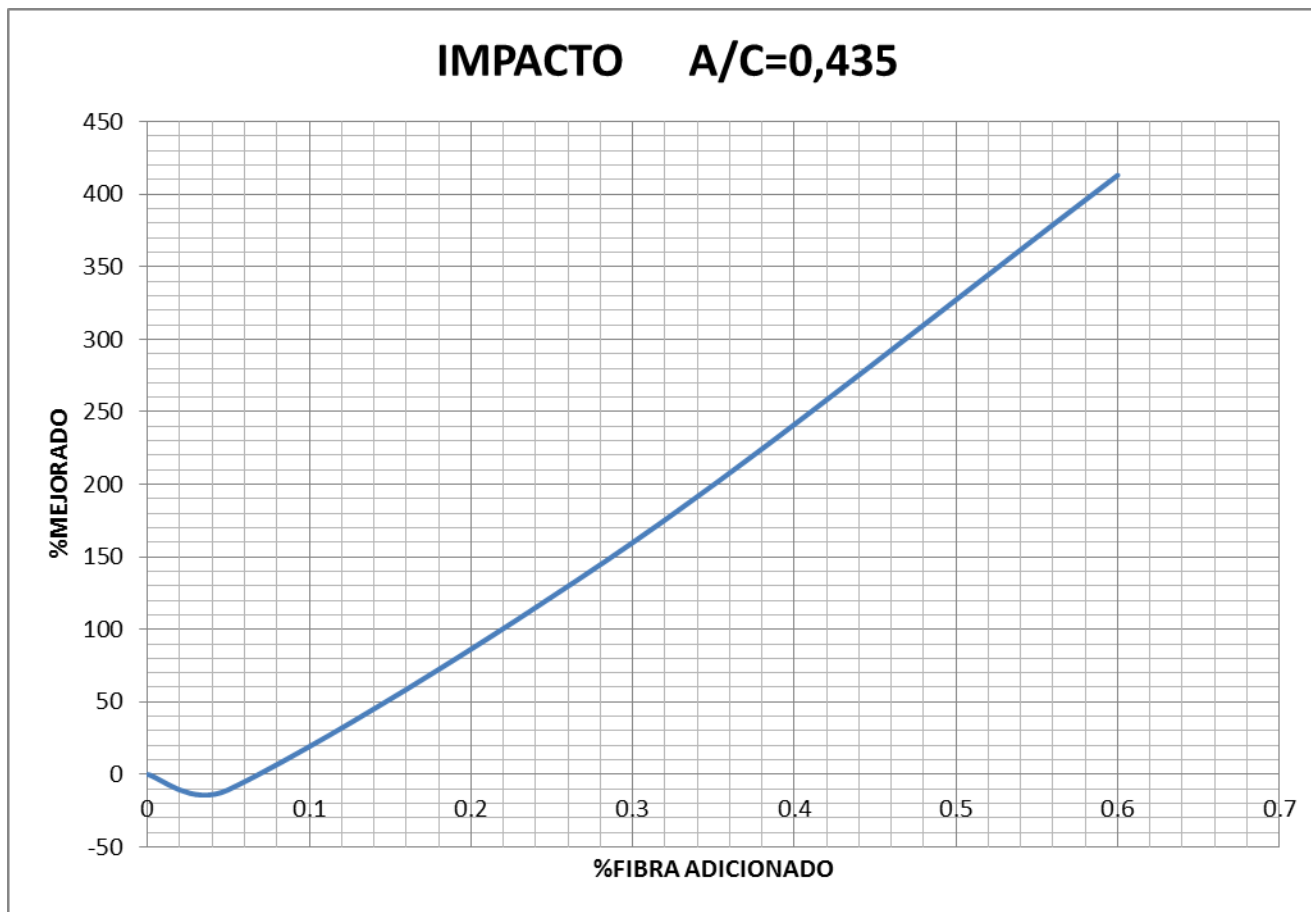


Ilustración 5-27. Variación del Porcentaje de fibra adicionado con la relación a/c=0,435. En el ensayo de impacto.

5.5.2. GRAFICAS DE LA VARIACION DE RESISTENCIAS CON LA RELACION A/C CON LOS PORCENTAJES DE FIBRA ADICIONADOS.

En la siguiente grafica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

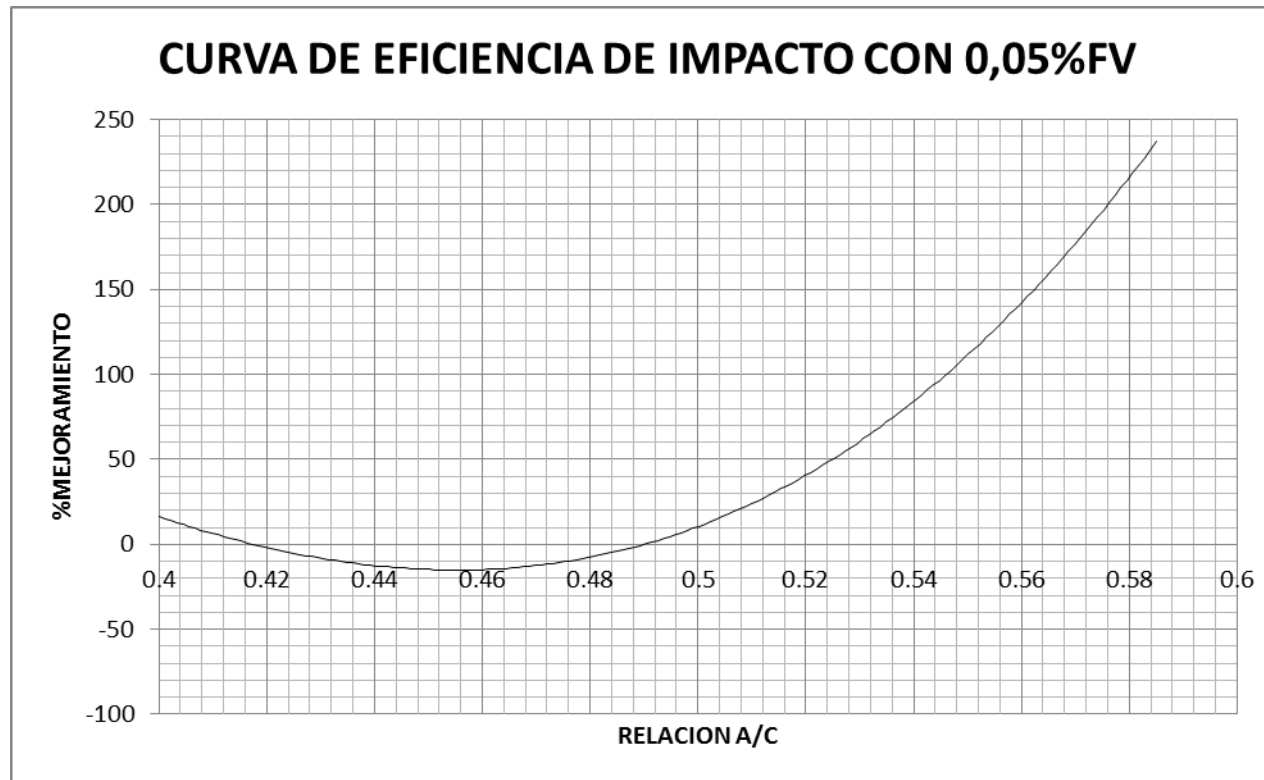


Ilustración 5-28. Variación de resistencias a impacto con respecto a la relación a/c, al usar 0,05% de fibra adicionado.

En la siguiente grafica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

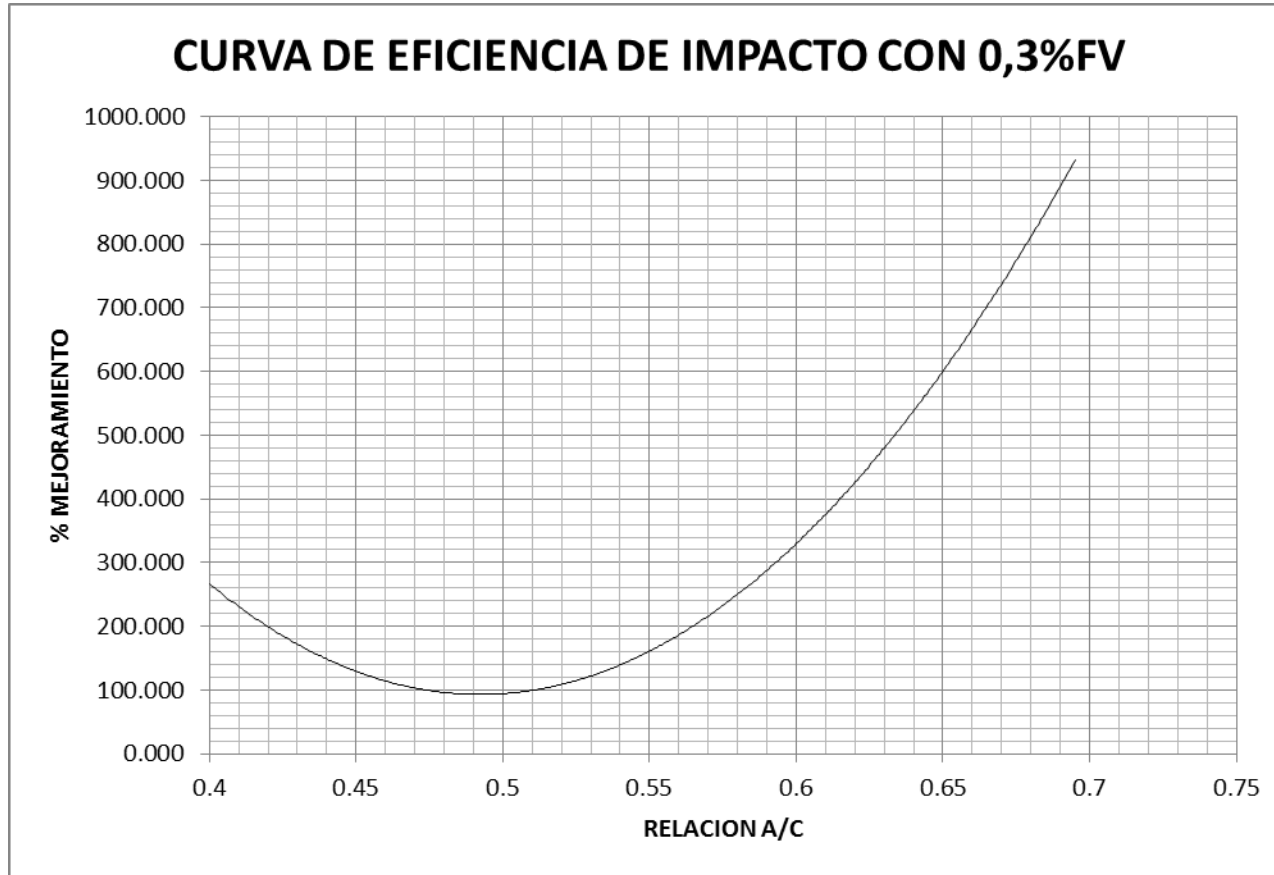


Ilustración 5-29. Variación de resistencias a impacto con respecto a la relación a/c, al usar 0,3% de fibra adicionado.

En la siguiente grafica se observa como varia el rendimiento del hormigón a medida que disminuye la relación a/c, mientras el porcentaje de fibra se mantiene constante. El porcentaje de mejoramiento es con relación a las muestras sin fibra de vidrio. No se consideran relaciones a/c menores a 0,4 ya que no cumplirían el requisito de durabilidad impuesto por el ACI.

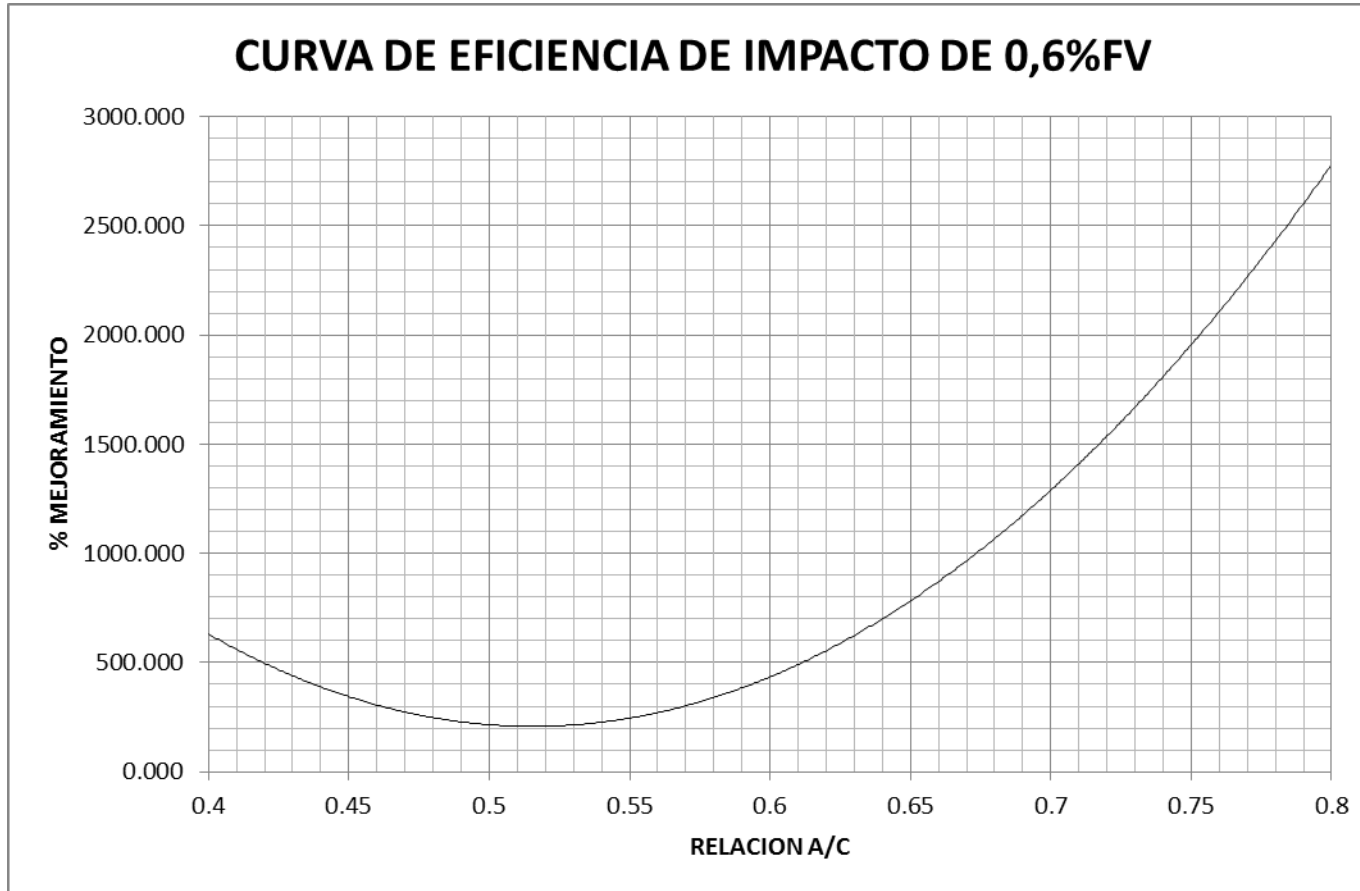


Ilustración 5-30. Variación de resistencias a impacto con respecto a la relación a/c, al usar 0,6% de fibra adicionado.

5.6. GRAFICAS DE EDAD VS RESISTENCIA

Las siguientes graficas de edad vs resistencia presentadas a continuación fueron elaboradas tras conocer los resultados de los ensayos de compresión realizados a los 7 días y a los 28 días.

RELACION A/C=0,585

EDAD (días)	RESISTENCIA kg/cm ²			
	180 SF	180- 0,05%FV	180-0,3%FV	180-0,6%FV
0	0	0	0	0
7	149,63	185,43	169,26	161,82
28	226,84	281,87	251,26	239,83

Tabla 5-6. Tabla edad vs resistencia para a/c=0,585. Fuente propia.

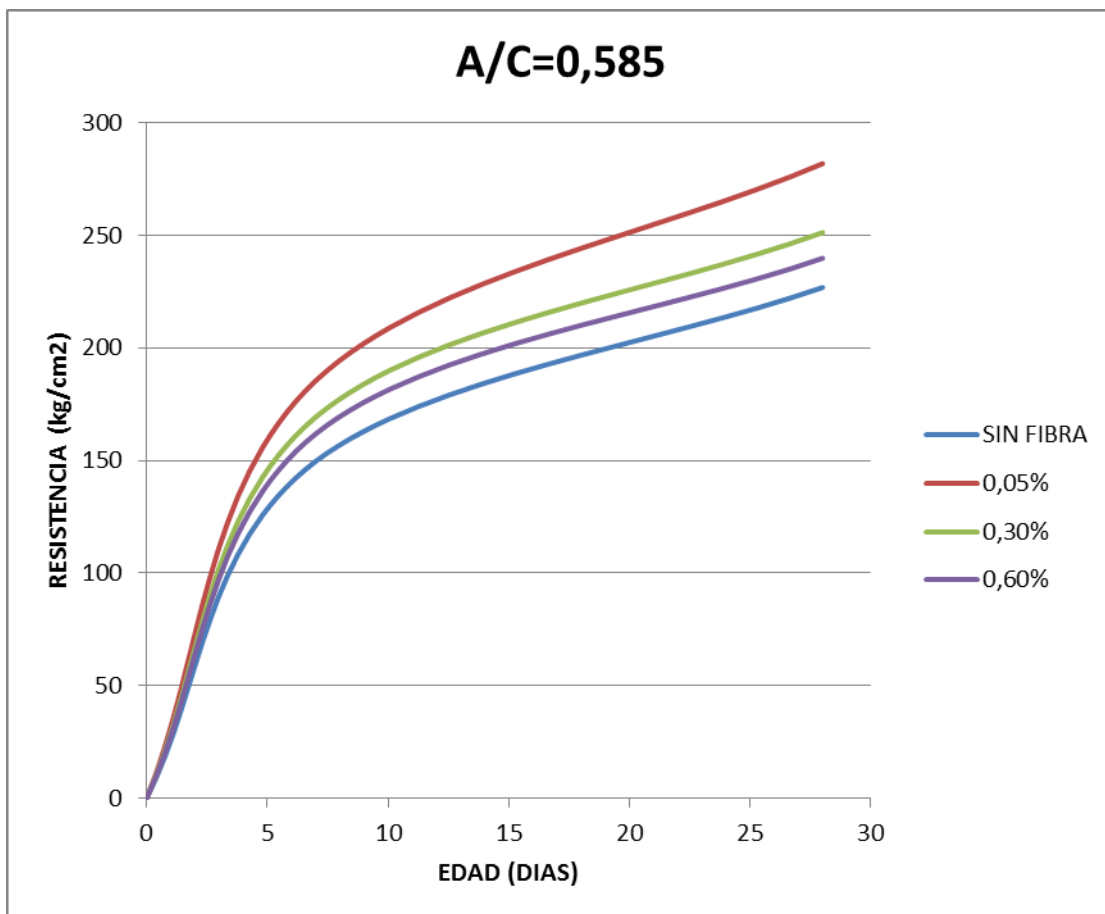


Ilustración 5-31. Grafico Edad vs Resistencia para la dosificación A/C=0,585.

RELACION A/C=0,523

EDAD (días)	RESISTENCIA kg/cm ²			
	180 SF	180- 0,05%FV	180-0,3%FV	180-0,6%FV
0	0	0	0	0
7	148,06	171,36	165,41	155,14
28	220,92	251,50	241,87	226,08

Tabla 5-7. Tabla edad vs resistencia para a/c=0,523. Fuente propia

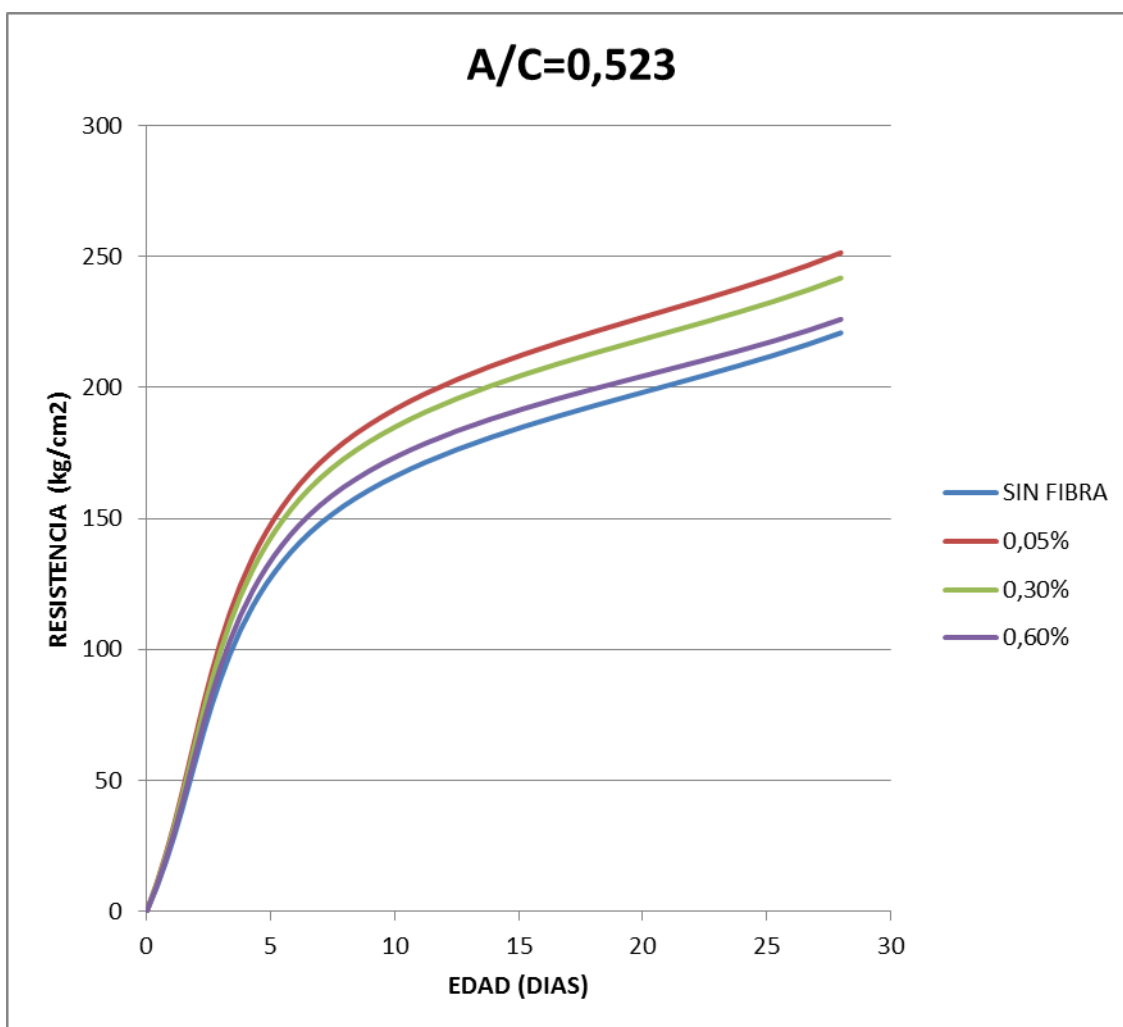


Ilustración 5-32. Grafico Edad vs Resistencia para la dosificación A/C=0,523.

RELACION A/C=0,435

EDAD (días)	RESISTENCIA kg/cm ²			
	180 SF	180- 0,05%FV	180-0,3%FV	180-0,6%FV
0	0	0	0	0
7	241,16	231,45	241,95	212,06
28	335,48	324,18	342,19	300,77

Tabla 5-8. Tabla edad vs resistencia para a/c=0,435. Fuente propia

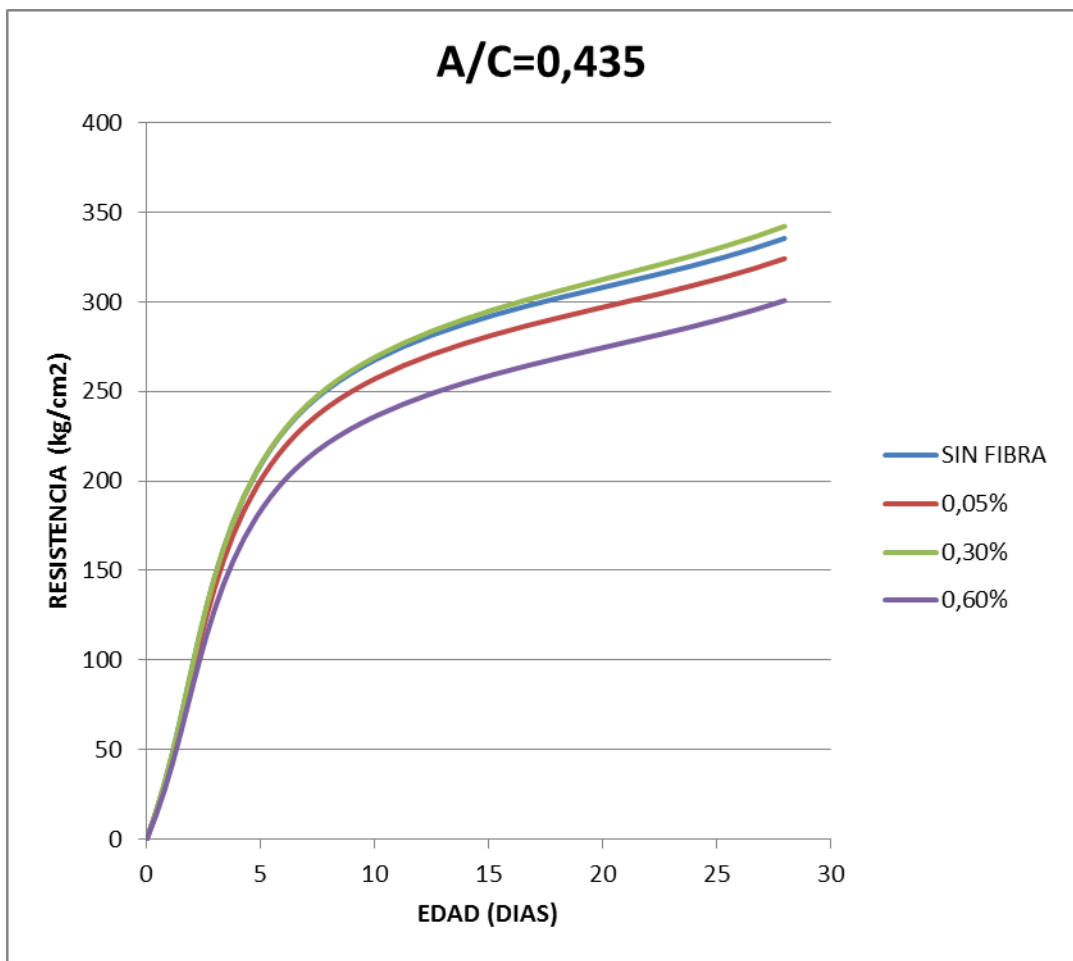


Ilustración 5-33. Grafico Edad vs Resistencia para la dosificación A/C=0,435.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1.1. Compresión

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos a compresión de cilindros a los 28 días, y si se observa la tabla 6-1 y/o ilustración 6-1, se concluye lo siguiente:

- En las probetas fabricadas con la relación $A/C=0,585$, se tiene un incremento máximo de resistencia añadiendo 0.05% de fibra de vidrio de 24,26%; posterior a este porcentaje de fibra su resistencia comienza a bajar hasta llegar a 5,73%.
- Usando una relación A/C de 0,523 en los cilindros ensayados, el porcentaje máximo de mejoramiento de resistencia apenas llega al 13,84% con el 0,05% de fibra de vidrio adicionado, y disminuye hasta un valor del 2,33%, con el 0,6% de fibra de vidrio adicionado.
- En los hormigones cuya relación $A/C=0,435$, el comportamiento es diferente a los anteriores, ya que inicia con un decremento de resistencia para posteriormente aumentar hasta un máximo del 2% con el 0,3% de fibra de vidrio adicionado y posterior a este porcentaje de fibra vuelve a perder resistencia. Los valores negativos quieren decir que la resistencia es menor a la obtenida a los 28 días de un hormigón de similares características y sin fibra adicionada.

RESISTENCIA f'c(28 días)	RELACION A/C	PROMEDIO kg/cm ²	F'c característica	%MEJORA
180 SIN FIBRA	0,585	226,84	224,01	0
180 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,585	281,87	277,33	24,26
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	251,26	242,15	10,76
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	239,83	235,08	5,73
210 SIN FIBRA	0,523	220,92	214,96	0
210 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,523	251,50	245,53	13,84
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	241,87	238,55	9,48
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	226,08	220,51	2,33
280 SIN FIBRA	0,435	335,48	330,22	0
280 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,435	324,18	319,41	-3,37
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	342,19	336,35	2,00
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	300,77	292,85	-10,35

Tabla 6-1. Resumen de Datos a compresión. Fuente propia.

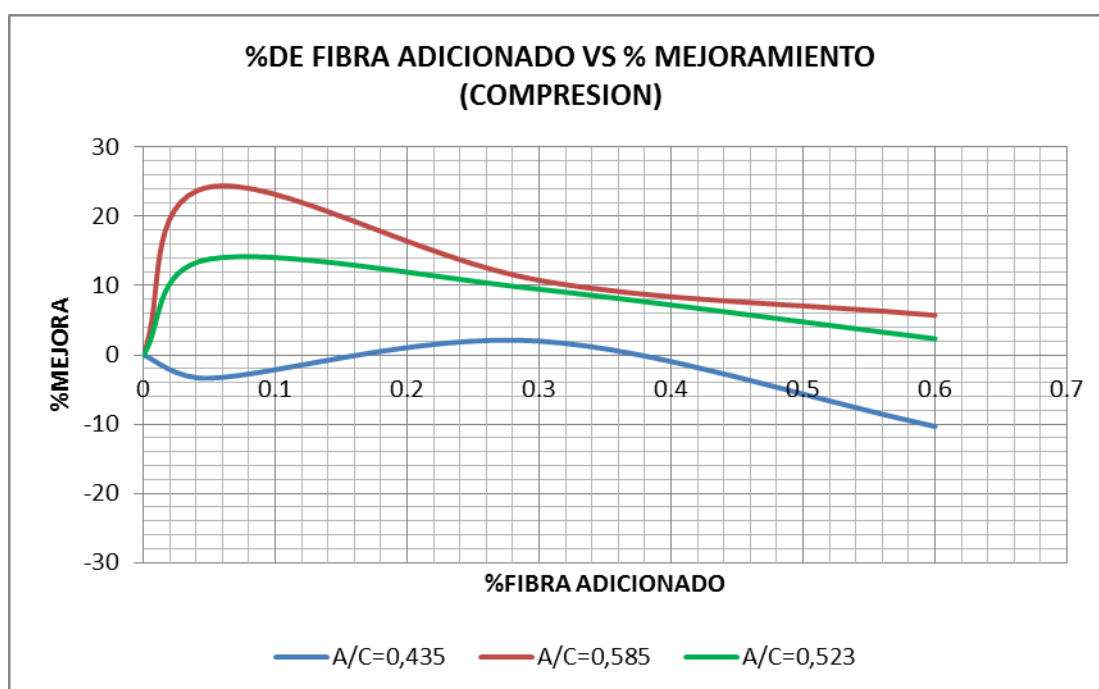


Ilustración 6-1. Grafico comparativo de las resistencias a compresión del % fibra adicionado vs % mejoramiento. Fuente propia.

Si se presta atención a la tabla 6-2 y/o ilustración 6-2, relacionado a la cantidad de fibra adicionada, se observa que:

- El porcentaje de fibra más óptimo para compresión es 0,05%, ya que con esta dosificación se obtienen los mayores porcentajes de mejoramiento de resistencia.
- En los cilindros elaborados con una relación a/c de 0,585 se obtienen mayores incrementos en su resistencia a compresión a los 28 días, de hasta el 10,76%.
- En las muestras de hormigón en las cuales se usó el 0,6% de fibra de vidrio adicionada, no se registraron aumentos en su resistencia a compresión, contrariamente se observa un decremento de hasta 10,35%.

0,05%FV		0,3%FV		0,6%FV	
RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA
0	-100	0	-100	0	-100
0,435	-3,37	0,435	2,00	0,435	-10,35
0,523	13,84	0,523	9,48	0,523	2,33
0,585	24,26	0,585	10,76	0,585	5,73

Tabla 6-2. Resumen de datos para la ilustración 45. Fuente Propia.

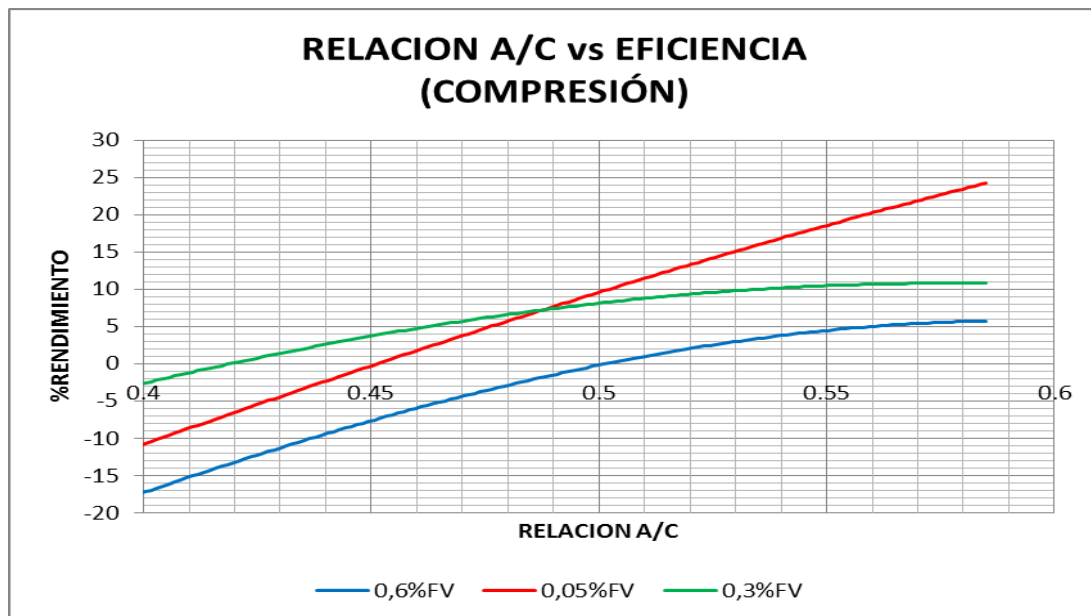


Ilustración 6-2. Grafico comparativo de las resistencias a compresión de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.

6.2.2. Flexión

Luego de haber realizado el ensayo de flexión en las vigas se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 6-3 y/o ilustración 6-3, se concluye que:

- Existe un mayor incremento en su resistencia al usar una relación a/c de 0,523, obteniendo valores de hasta un 43,20%, con una dosificación de fibra de vidrio del 0,6%.
- Los resultados obtenidos en los concretos con la relación a/c de 0,585, también son favorables ya que aumentó su resistencia hasta un 33,55% pero con un porcentaje de fibra de vidrio del 0,05%.
- En el caso de las vigas con una relación A/C=0,435, su curva de mejoramiento es variable, empieza con un decremento en su resistencia para posteriormente aumentar hasta un máximo del 4,10% con el 0,3% de fibra de virio adicionado y posterior a este porcentaje de fibra baja otra vez hasta un -6,92% con lo máximo de fibra adicionado. Los valores negativos significa que la resistencia es menor a la obtenida a los 28 días de un hormigón de similares características y sin la adición de fibras.

RESISTENCIA	RELACION A/C	MODULO DE ROTURA kg/cm ²	%MEJORA
180 SIN FIBRA	0,585	35,21	0
180 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,585	47,02	33,55
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	43,92	24,74
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	46,45	31,92
210 SIN FIBRA	0,523	35,26	0
210 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,523	46,31	31,34
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	46,55	32,03
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	50,49	43,20
280 SIN FIBRA	0,435	52,80	0
280 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,435	46,74	-11,48
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	54,96	4,10
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	49,14	-6,92

Tabla 6-3. Tabla de resumen de datos a flexión. Fuente propia.

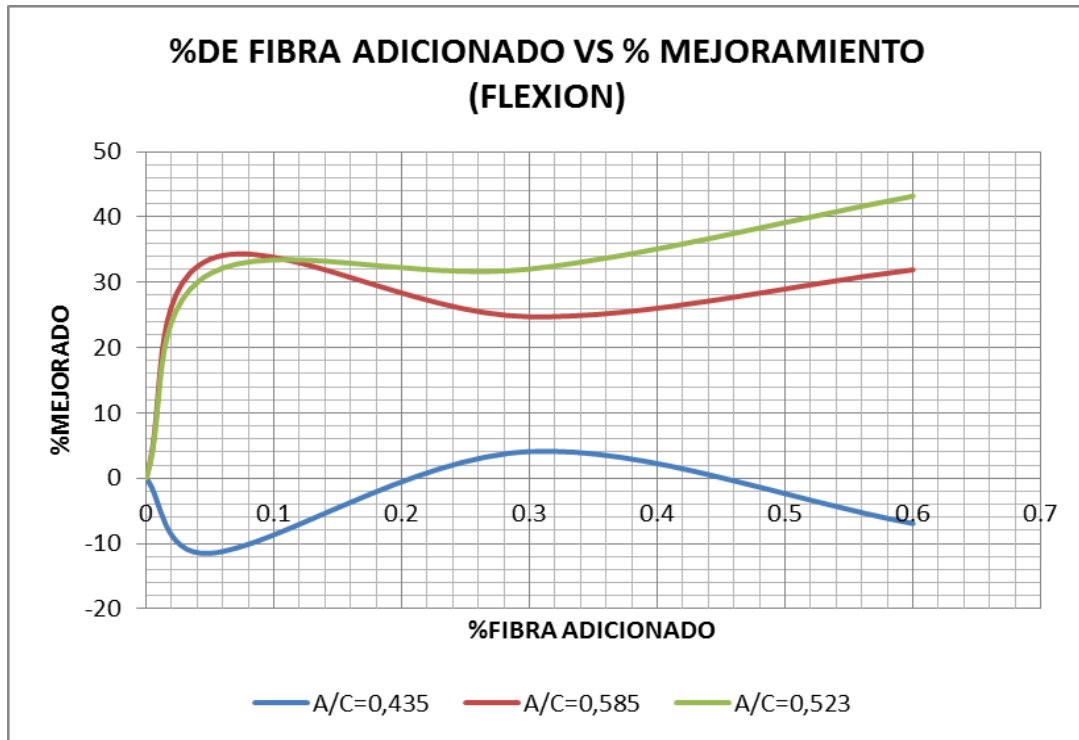


Ilustración 6-3. Grafico comparativo de las resistencias a flexión del %fibra adicionado vs %mejoramiento. Fuente propia.

Al realizar una comparación entre las dosificaciones de fibra de vidrio y los incrementos de resistencia expresado en la tabla 6-4 y/o ilustración 6-4, se tiene que:

- El mayor incremento de resistencia a flexión alcanzado con la adición de fibra de vidrio es con un 0,6% y con una relación a/c de 0,523.
- Para los porcentajes de adición de fibra de 0,3 y 0,6% se constató que su mayor incremento de resistencia se encuentra con una relación a/c de 0,523, mientras que para un porcentaje de adición del 0,05% corresponde una relación a/c de 0,585.
- En hormigones cuya relación a/c sea menor a 0,45, sus incrementos de resistencia tienden a ser mínimos o desfavorables en los tres casos de dosificación de fibra de vidrio.

0,05%FV		0,3%FV		0,6%FV	
RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA
0,435	-11,48	0,435	4,1	0,435	-6,92
0,523	31,34	0,523	32,03	0,523	43,2
0,585	33,55	0,585	24,74	0,585	31,92

Tabla 6-4. Resumen de datos para la ilustración 47. Fuente Propia.

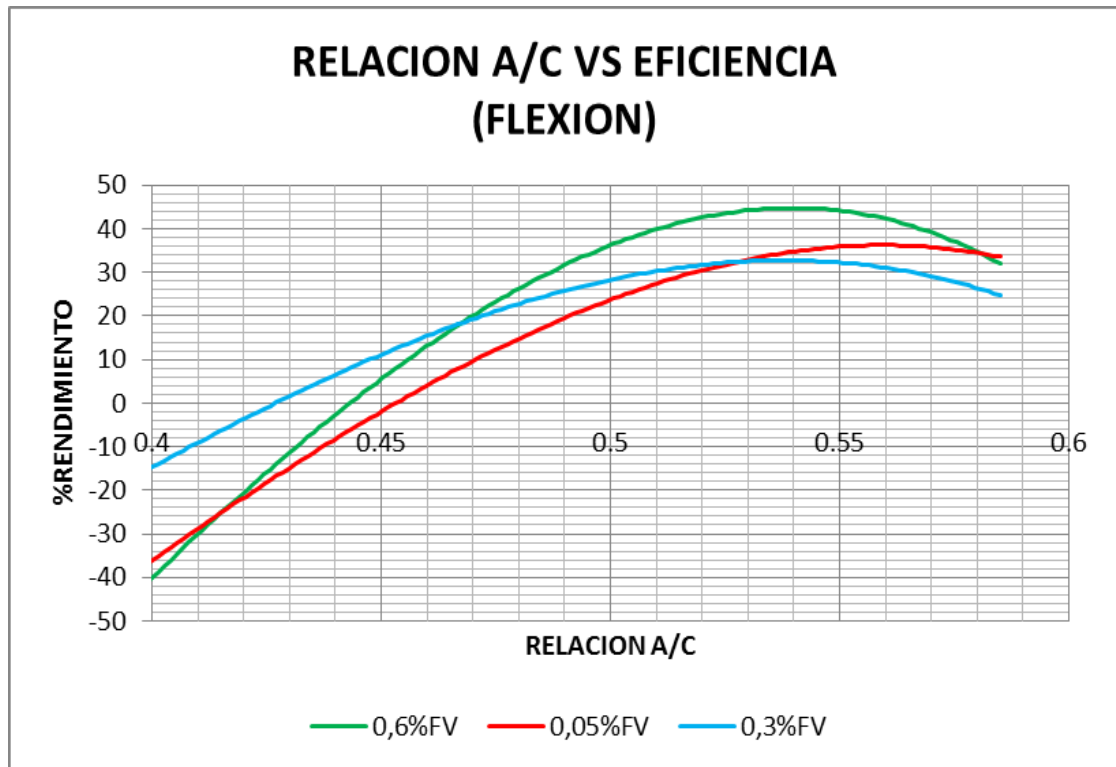


Ilustración 6-4. Grafico comparativo de las resistencias a flexión de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.

6.2.3. Tracción

Una vez concluidos todos los ensayos de tracción en los cilindros por el método brasilero, se aprecia en la tabla 6-5 y/o ilustración 6-5 que:

- Los concretos que registraron un mejor comportamiento y resistencia fueron aquellos dosificados con una relación a/c de 0,523. Ya que poseen un incremento de resistencia del 29,95%, con un 0,6% de fibra de vidrio adicionada.
- Para los hormigones con una relación a/c de 0,435, el comportamiento es distinto a los fabricados con una relación a/c de 0,585 y 0,523, debido a que no se produjo un aumento de resistencia, sino todo lo contrario, esta disminuye hasta un 13,89% con un 0,05% de adición de fibra de vidrio.

RESISTENCIA	RELACION A/C	RESISTENCIA kg/cm ²	%MEJORA
180 SIN FIBRA	0,585	28,35	0
180 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,585	30,75	8,46
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	31,00	9,32
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	33,02	16,47
210 SIN FIBRA	0,523	25,30	0,00
210 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,523	28,07	10,94
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	30,88	22,05
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	32,88	29,95
280 SIN FIBRA	0,435	40,01	0,00
280 CON 0,05% FIBRA DE VIRIO	0,435	34,45	-13,89
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	37,98	-5,06
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	36,74	-8,17

Tabla 6-5. Resumen de resultados ensayo brasilero. Fuente propia.

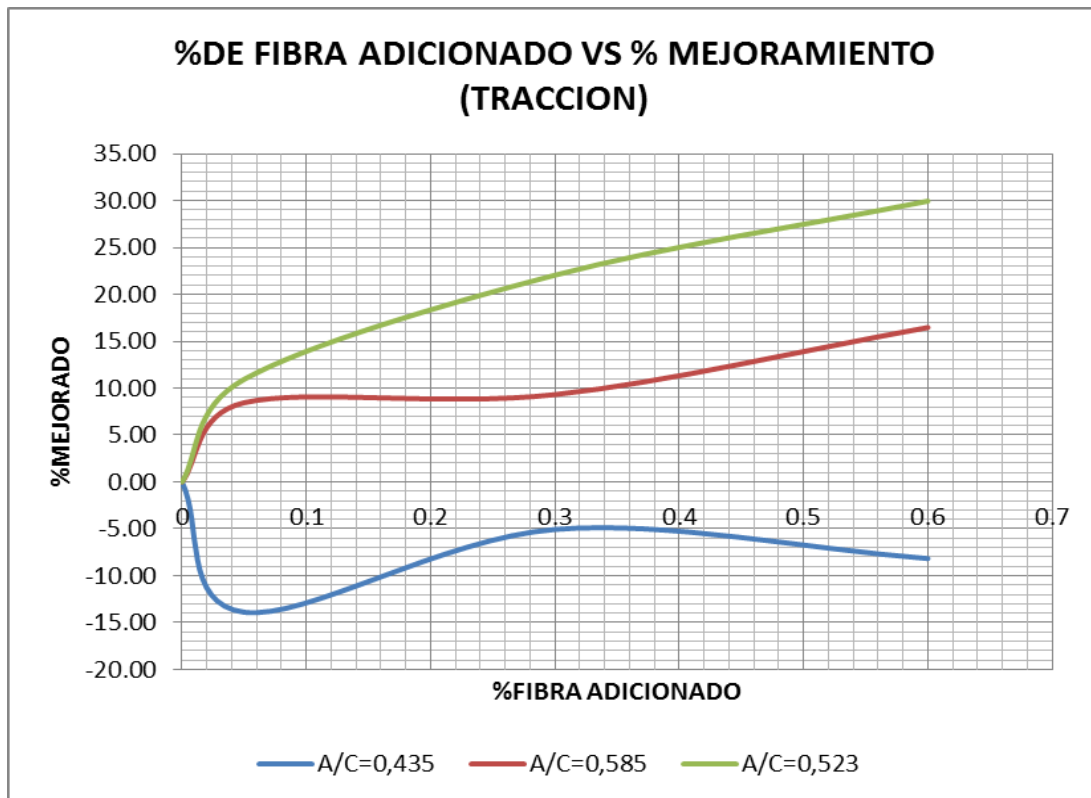


Ilustración 6-5. Grafico comparativo de las resistencias a tracción del %fibra adicionado vs %mejoramiento. Fuente propia.

Observando la tabla 6-6 y/o ilustración 6-6 que relaciona la resistencia con el porcentaje de fibra adicionado, en diferentes relaciones a/c se encuentra que:

- Para el ensayo de tracción al igual que el de flexión se obtienen los mayores porcentajes de mejoramiento al añadir 0,6% de fibra de vidrio y con una relación a/c de 0,523.
- También observamos que los incrementos en la resistencia del hormigón son mayores en aquellos cuyo valor de la relación a/c se encuentre entre 0,5 y 0,55.
- Los especímenes elaborados con una relación a/c menor a 0,47, poseen menores incrementos en su resistencia, llegando en algunos casos a ser negativos en los tres tipos de dosificación de fibra de vidrio.

0,05%FV		0,3%FV		0,6%FV	
RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA
0,435	-13,89	0,435	-5,06	0,435	-8,17
0,523	10,94	0,523	22,05	0,523	29,95
0,585	8,46	0,585	9,32	0,585	16,47

Tabla 6-6. Resumen de datos para la ilustración 49. Fuente Propia.

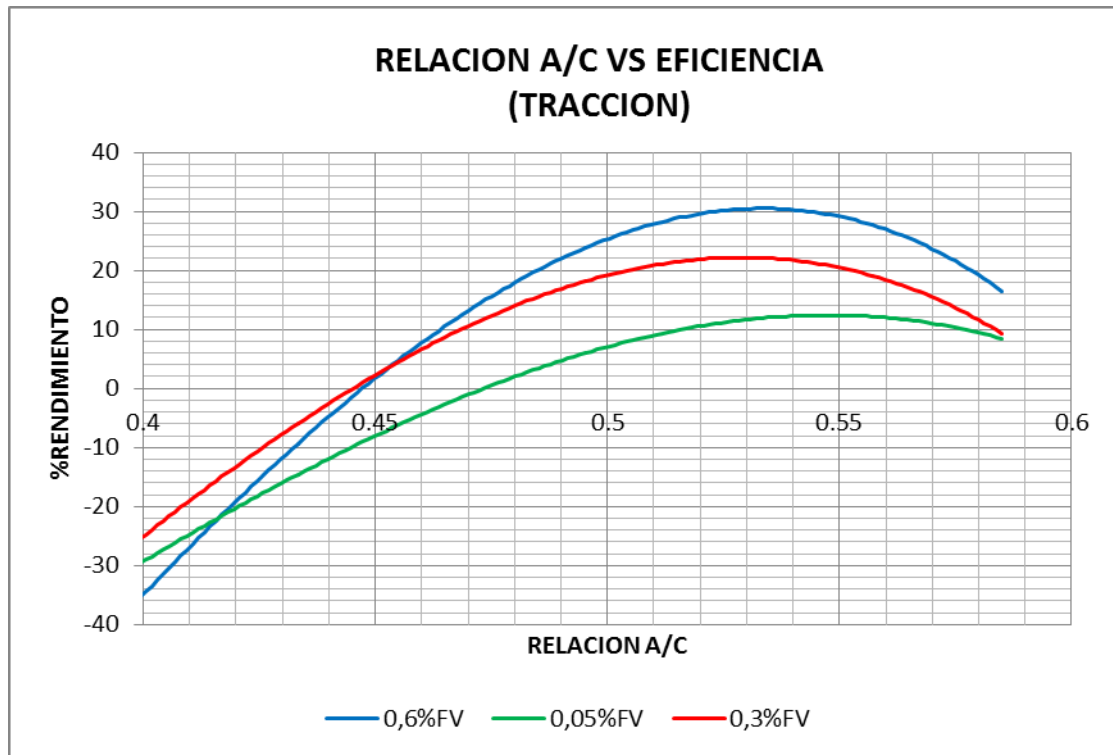


Ilustración 6-6. Grafico comparativo de las resistencias a tracción de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.

6.2.4. Módulo de elasticidad

Posterior a la realización de los ensayos de módulo de elasticidad en los cilindros fabricados, se detallan los resultados en la tabla 6-7 e ilustración 6-7 y se concluye lo siguiente:

- En los hormigones con una relación a/c igual a 0,523, el incremento del módulo de elasticidad varía a medida que aumenta el porcentaje de fibra de vidrio adicionado, de una manera casi lineal desde un 3.50% hasta 15,27%.
- La relación a/c con la que más se incrementó el módulo de elasticidad fue de 0,585, con el 0,05% de fibra de vidrio adicionado al obtenerse un 19,92%.
- Para las mezclas elaboradas con una relación a/c de 0,435, sucede lo contrario que en las anteriores dosificaciones, su módulo de elasticidad baja desde un inicio. Este valor desciende desde un 4,18% hasta llegar a un 15,59% con 0,6% de fibra de vidrio.

RESISTENCIA f'c(28 días)	RELACION A/C	PROMEDIO kg/cm ²	α	% INCREMENTO M.E
180 SIN FIBRA	0,585	176277,44	13138,94	0
180 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,585	211389,54	15756,05	19,92
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	194432,40	14492,14	10,30
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	187620,28	13984,39	6,43
210 SIN FIBRA	0,523	180998,93	12490,11	0,00
210 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,523	187340,35	12927,71	3,50
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	198747,40	13714,87	9,81
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	208631,07	14396,91	15,27
280 SIN FIBRA	0,435	205834,48	12300,96	0,00
280 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,435	197228,46	11786,65	-4,18
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	189144,90	11303,57	-8,11
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	173753,97	10383,79	-15,59

Tabla 6-7. Resumen de datos ensayo módulo de elasticidad. Fuente propia.

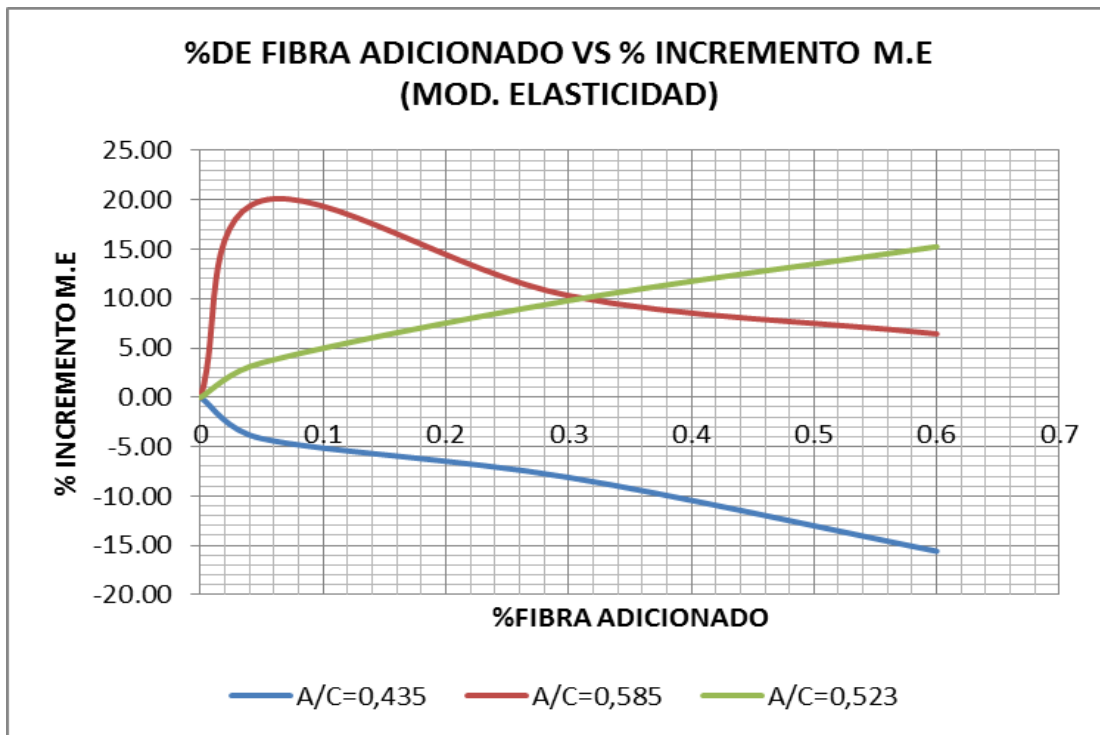


Ilustración 6-7. Grafico comparativo con los módulos de elasticidad del %fibra adicionado vs %mejoramiento. Fuente propia.

Al realizar una gráfica entre el porcentaje de fibra de vidrio adicionada y el incremento del módulo de elasticidad, tal como se describe en la tabla 6-8 e ilustración 6-8, tenemos que:

- La cantidad óptima de fibra de vidrio usada para un módulo de elasticidad no tan variable es de 0,05%.
- Se observa que el módulo de elasticidad de los hormigones con las diferentes dosificaciones de a/c, se incrementa a la vez que aumenta la cantidad de fibra de vidrio en la mezcla. A excepción de la relación a/c de 0,435, para la cual su módulo de elasticidad disminuye.
- Acorde a la ilustración 6-8, los concretos en los cuales se obtiene el mejor comportamiento, son aquellos dosificados con una relación a/c comprendida entre 0,5 y 0,55.

0,05%FV		0,3%FV		0,6%FV	
RELACION A/C	%INCREMENTO	RELACION A/C	%INCREMENTO	RELACION A/C	%INCREMENTO
0,435	-4,180	0,435	-8,11	0,435	-15,59
0,523	3,499	0,523	9,81	0,523	15,27
0,585	19,919	0,585	10,3	0,585	6,43

Tabla 6-8. Resumen de datos para la ilustración 51. Fuente Propia.

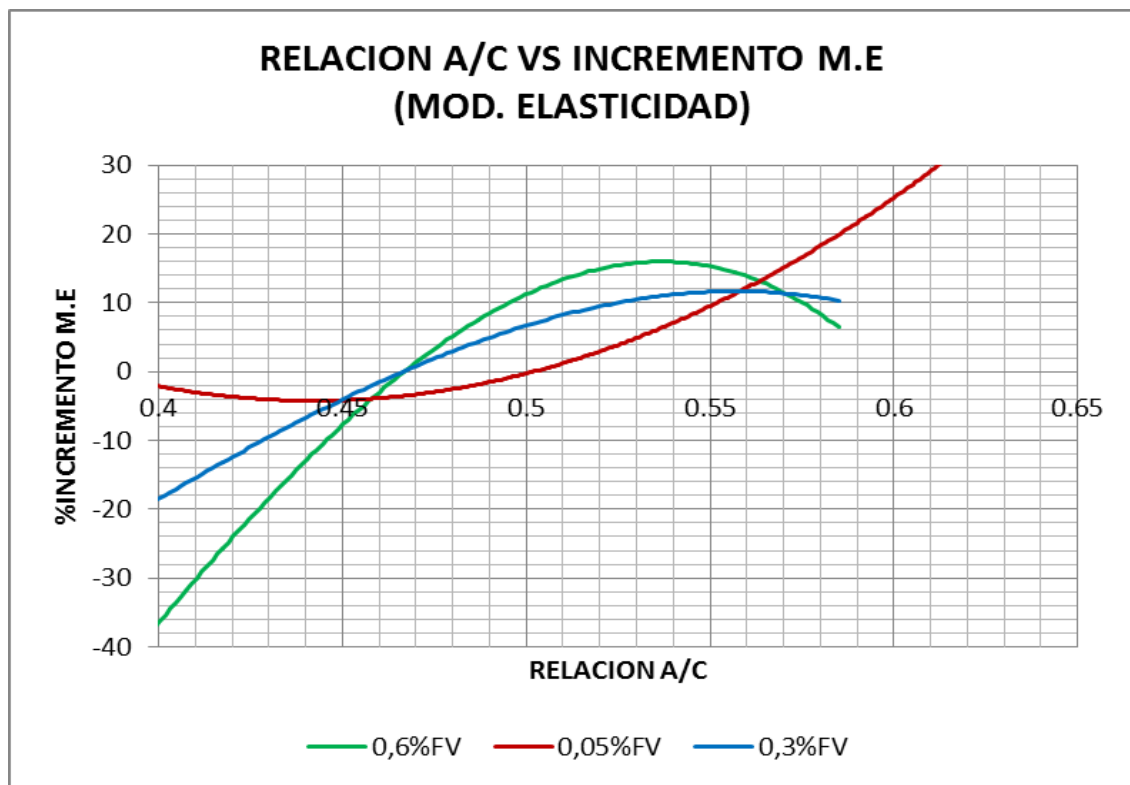


Ilustración 6-8. Grafico comparativo los módulos de elasticidad en las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.

6.2.5. Impacto

Si se observar la tabla 6-9 e ilustración 6-9 correspondiente al ensayo de impacto se nota que:

- Las probetas de hormigón en las cuales se usó una relación a/c de 0,585, se obtiene un aumento de resistencia de hasta un 361% con un porcentaje de adición de fibra de 0,6%.
- En las muestras realizadas con un hormigón a partir de la relación A/C=0,435, encontramos un decremento en su resistencia del 10% con 0,05% de fibra adicionada, luego aumenta hasta llegar al 413% con 0,6 de fibra de vidrio adicionada.
- Se concuerda que todos los especímenes de concreto fabricados sin importar su relación a/c, registran un aumento de su resistencia al impacto a medida que se incrementa el porcentaje de fibra de vidrio adicionada.

RESISTENCIA f'c(28 días)	RELACION A/C	PROMEDIO #GOLPES	PROMEDIO ENERGIA DE IMPACTO N.m	%MEJORA
180 SIN FIBRA	0,585	10,8	238,51	0
180 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,585	36,4	803,87	237,04
180 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,585	39,8	878,96	268,52
180 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,585	49,8	1099,80	361,11
210 SIN FIBRA	0,523	19	428,44	0
210 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,523	28	627,2	46,39
210 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,523	41	909,9	112,38
210 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,523	60	1325,1	209,28
280 SIN FIBRA	0,435	30	671,36	0
280 CON 0,05% FIBRA DE VIDRIO	0,435	27	600,69	-10,53
280 CON 0,3% FIBRA DE VIDRIO	0,435	79	1744,66	159,87
280 CON 0,6% FIBRA DE VIDRIO	0,435	156	3445,16	413,16

Tabla 6-9. Resumen de resultados ensayo de impacto. Fuente propia.

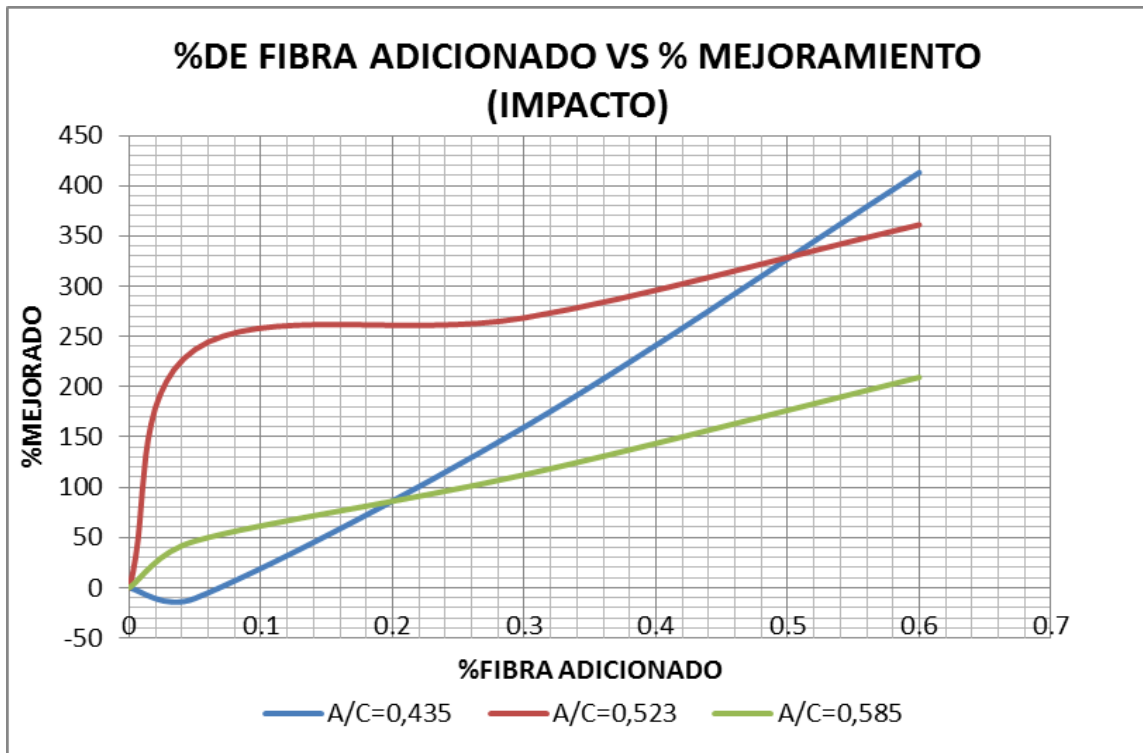


Ilustración 6-9. Grafico comparativo de las resistencias a impacto del %fibra adicionado vs %mejoramiento. Fuente propia.

De acuerdo a los porcentajes de fibra adicionada y su resistencia alcanzada descritos en tabla 6-10 e ilustración 6-10, se destaca lo siguiente:

- Las probetas de concreto fabricadas con un porcentaje de fibra de vidrio del 0,05% y 0,3% poseen una mayor capacidad de resistir el impacto al ser dosificadas con una relación a/c de 0,585.
- Los mayores incrementos de resistencia que se lograron al ensayar las muestras de los tres casos de adición de fibra (0,05%,0,3% y 0,6%), son aquellas fabricadas con una relación a/c comprendida entre 0,5 y 0,585.

0,05%FV		0,3%FV		0,6%FV	
RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA	RELACION A/C	%MEJORA
0,435	-10,53	0,435	159,869	0,435	413,16
0,523	46,39	0,523	112,379	0,523	209,28
0,585	237,04	0,585	268,519	0,585	361,11

Tabla 6-10. Resumen de datos para la ilustración 53. Fuente Propia.

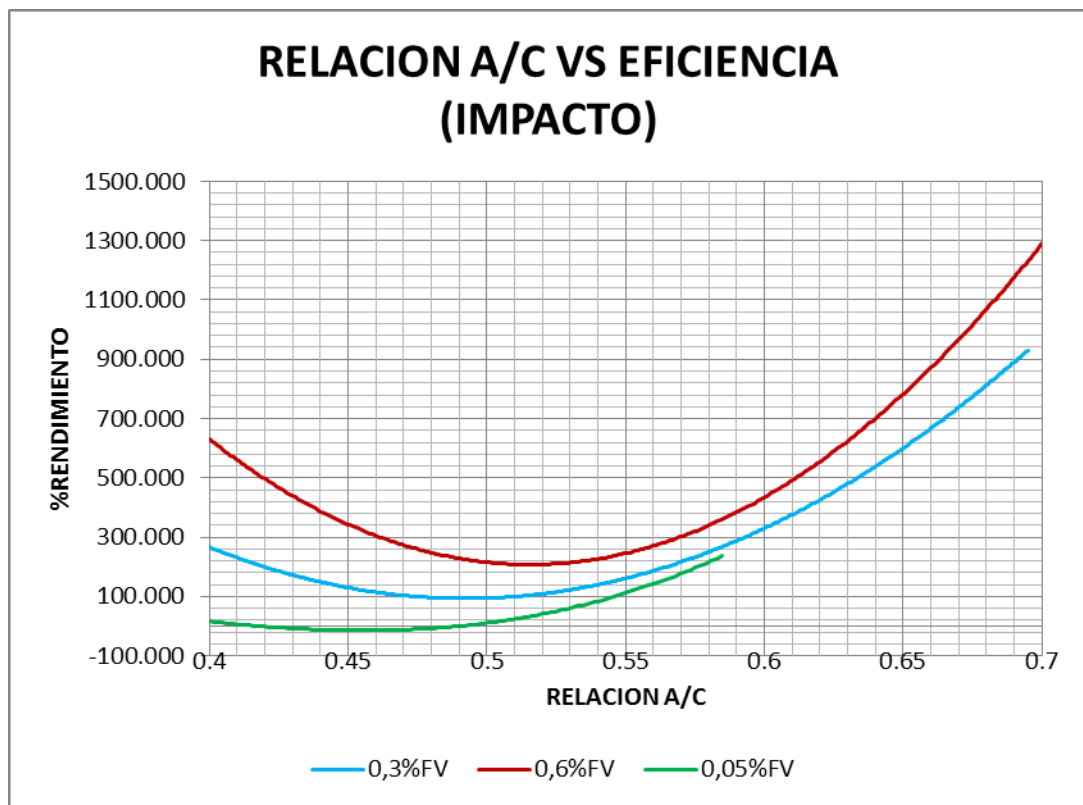


Ilustración 6-10. Grafico comparativo de las resistencias a impacto de las relaciones A/C vs eficiencia. Fuente Propia.

6.2. CONCLUSIONES

- Los resultados de estos ensayos pueden variar al usar otros materiales para las mezclas que no sean los usados en esta investigación es decir, con agregados de Guayllabamba de tamaño máximo 1'', cemento Holcim y fibra de vidrio Dutranpro de Fiberglass; por lo que se recomienda que al usar otros materiales, se realicen pruebas de control para establecer los incrementos reales.
- En las curvas que se relaciona el porcentaje de mejoramiento de resistencia y la relación a/c, el valor mínimo de a/c que se utilizó es el que describe la norma ACI-08 en su capítulo 4, la cual establece que para que un hormigón cumpla el requisito de durabilidad la relación agua cemento mínima debe ser de 0,4.
- En todos los ensayos realizados, se pudo constatar que cuando la dosificación de la fibra de vidrio llega a 0,6% sus propiedades de compresión, flexión, tracción, impacto y módulo de elasticidad comienzan a bajar, esto puede darse a que la fibra comienza a absorber cantidades de agua que el hormigón necesita para poder completar su proceso de fraguado. Otra causa puede ser que la fibra ocupa un volumen relativamente considerable con lo cual deja de ser efectiva para fines de resistencia.
- De los ensayos a compresión no se puede tener datos importantes porque el hormigón es un material que resiste muy bien ante esta sollicitación de carga y lo que se busca al poner fibra de vidrio es mejorar su resistencia a flexión y al desgaste. Teóricamente se dice que en el hormigón baja su resistencia a la compresión hasta un 10% cuando se agrega fibra de vidrio. Pero como se puede observar en este estudio con la fibra de vidrio DUTRANPRO de FIBERGLASS, su resistencia se mantiene y además aumenta un máximo de 16% para la relación A/C=0,585. Sin embargo se puede ver que para la relación A/C=0,435 su resistencia baja hasta un 24%. Por lo tanto no se aconsejaría usar un porcentaje de fibra mayor al de 0,6%.
- En cuanto a la resistencia a flexión se observa que existe un mejoramiento considerable de un 30% aproximadamente con porcentajes de fibra entre 0,05% y 0,6%. En cambio para hormigones con relaciones a/c menores 0,435 ya se tienen problemas por pérdida de resistencia.

- Las viguetas de concreto ensayadas en las cuales se obtienen los mejores porcentajes de mejoramiento son aquellas fabricadas con una relación a/c entre 0,5 y 0,55 con los tres porcentajes de adicción de fibra que son 0,05%, 0,3% y 0,6%.
- Para su resistencia a tracción los mejoramientos más altos son aquellos en los que se usó el porcentaje de fibra 0,6%. Excepto para los hormigones cuyas relaciones a/c son menores a 0,435, en estas ya existen problemas de perdida de resistencia.
 - De los ensayos realizados a tracción, se concluye que los hormigones elaborados con relaciones a/c entre 0,5 y 0,55, poseen los mejores incrementos en su resistencia, con los tres porcentajes de adicción de fibra que son 0,05%, 0,3% y 0,6%.
- El ensayo de impacto es la propiedad que presenta los mayores incrementos de resistencia, es decir a medida que aumenta el porcentaje de adicción de fibra, mayor es el porcentaje de mejoramiento. En esta propiedad no influye en su aumento resistencia las relaciones a/c que se usen.
- Al comparar los resultados de todos los ensayos realizados, se establece que el hormigón que mejor comportamiento tiene con la adicción de la fibra de vidrio y además registra un óptimo porcentaje de mejoramiento en sus propiedades de compresión, flexión, tracción e impacto, es aquel con una relación a/c de 0,523, que corresponde a la dosificación para un $f'c$ de 210 kg/cm².

6.3. RECOMENDACIONES

- Al realizar la mezcla la fibra de vidrio debe ser introducida en cantidades no muy grandes para lograr una homogeneidad del material, y además permanecer todo el conjunto en la concretora durante un tiempo de 3 a 4 minutos a máxima velocidad.
- Las personas que estén en contacto directo con la fibra de vidrio deben llevar un equipo básico de protección personal como overol, guantes de caucho, mascarilla y gafas, con el fin de evitar posibles irritaciones e infecciones en los ojos y también molestias en la piel como picazón.
- No mezclar un porcentaje de fibra de vidrio adicionada mayor al 0,6% ya que como se puede ver de las conclusiones de este estudio, su resistencia empieza a bajar a partir de este valor.
- En base a lo experimentado en este estudio para obtener las mejores propiedades y resistencias se recomienda usar porcentajes de fibra de vidrio entre 0,05% y 0,3%. Igualmente usar estos porcentajes mencionados con hormigones en los cuales su relación a/c no sea menor a 0,48; que correspondería a hormigones que no estén expuestos a condiciones agresivas del medio ambiente.
- Una vez culminada esta investigación y posteriormente analizado los resultados obtenidos, se recomienda como complemento a este estudio realizar pruebas diferentes a las de este ensayo es decir usando materiales distintos tanto en la marca de la fibra de vidrio como en los agregados usados. Esto con la finalidad de obtener una idea global del comportamiento de la fibra de vidrio en el hormigón. También se recomienda añadir la siguiente prueba de laboratorio:
 - Resistencia a los sulfatos de hormigones con fibra de vidrio.

7. BIBLIOGRAFIA

- Construcción hormigonera, segunda edición, F Cassinello Pérez, 1974
- Concrete paving blocks – Requirements and test methods, british standards, 2007
- “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 guallabamba- pichincha y cemento selvalegre” Trabajo de graduación previo a la obtención del título de ingeniero civil elaborado por: Morales Escobar Diego Alejandro, Ojeda Cueva Franklin Santiago, Rodríguez Narváez Diego David y Rosero Benavides Arturo Javier, Universidad Central del Ecuador, 2012
- “Patología de la construcción en mampostería y hormigones” trabajo de grado previo a la obtención del título de ingeniero civil de Egda. Gabriela Salomé Puente Cárdenas, 2007
- “Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras de : Vidrio, carbono y aramida” Trabajo fin de Máster de Víctor Águila Higuero de la Universidad Politécnica de Madrid - 2010
- “Comportamiento de las fibras metálicas en el hormigón”, Autor: Fernando Francisco Escudero Romero, 2001.
- “Hormigones con fibra de polipropileno” Autor: Larrea Cabrera Paul Enrique y Samaniego Buerneo José Alfonso, 2002.
- Measurement of properties of Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.2R-78)
- Folleto técnico LAFARGE, cemento tipo portland puzolánico IP.
- Disertación de grado de Edison Xavier Guerra Moneses y Juan Ramón Pazmiño Alvear “Desgaste de adoquines de hormigón”1997.
- Disertación de Artega Cruz Michel Napoleón y Valdez Gómez de la Torre Daniel sobre “Desgaste de adoquines de hormigón” 2005.
- American Concrete Institute ACI 318-08
- Normas Ecuatorianas INEN
- Folletos de la firma Vetrotex España S.A.
- Folletos de la empresa Gavatex.

- Folletos de la empresa Aparell S.A.
- A. Neville, Properties of Concrete, Pitman Publishing Limited.
- Hormigón Armado, P. Jiménez Montoya, Tomo 1, Editorial Gustavo Gil, Barcelona 87-89.
- Programa de dosificación en hoja de cálculo Excel proporcionado por el Ing. Lauro Lara.

Páginas Web consultadas:

- <http://www.iberpavimento.org/Sobre-Hormigon.html> }
- http://www.hormisol.com/pdf/hormi_pulido.pdf
- <http://www.pavihormigon.com/>
- <http://www.pavimih-hormigonimpreso.es/hormigon-pulido.php>
- <http://pavimentosbaba.wordpress.com/>
- <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev7.pdf>
- http://www.serraciments.com/fibras-para-mortero-y-hormigon/fibras-de-vidrio_26.html
- <http://www.imcyc.com/ct2006/mayo06/TECNOLOGIA.pdf>
- Datos obtenidos de las siguientes páginas de internet:
 - www.fortius.be/SP
 - www.dyd/fibras/fibras.html

ANEXOS

ANEXO 1: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBRA: TESIS

LOCALIZACION:

ORIGEN Y DESCRIPCION:

RECEPCION:

SOLICITA:

NORMA INEN: 696

NORMA ASTM: C-136

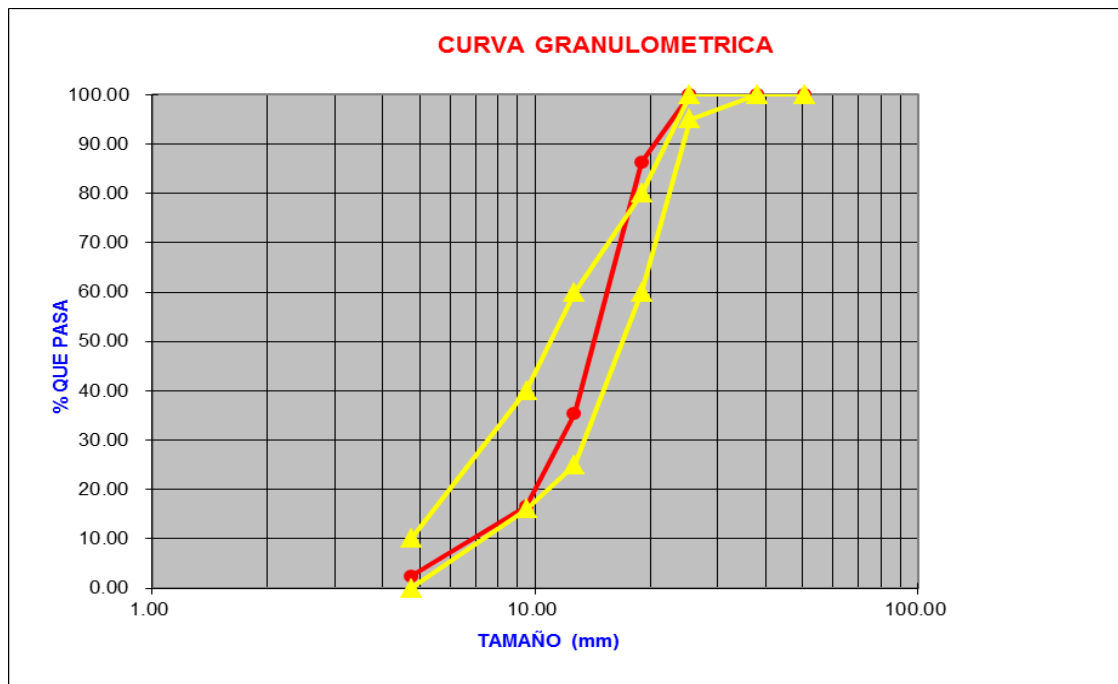
FECHA:

GRANULOMETRIA POR MALLAS

MALLA No.	ABERTURA	MASA	MASA	PORCENTAJE	PORCENTAJE
		RETENIDA	RETENIDA	RETENIDO	QUE PASA
	(mm)	PARCIAL	ACUMULADA	(%)	(%)
2 1/2"	64.00	0.0	0.0	0.00	100.00
2"	50.80	0.0	0.0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.00	100.00
1"	25.40	0.0	0.0	0.00	100.00
3/4"	19.00	3206.0	3206.0	13.70	86.30
1/2"	12.70	11905.0	15111.0	64.56	35.44
3/8"	9.51	4415.0	19526.0	83.42	16.58
N° 4	4.76	3325.0	22851.0	97.63	2.37
P A S A No 4		555.0	555.0		
SUMA :		23406.0	23406.0		

TAMAÑO MAXIMO

1"



ANEXO 2: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

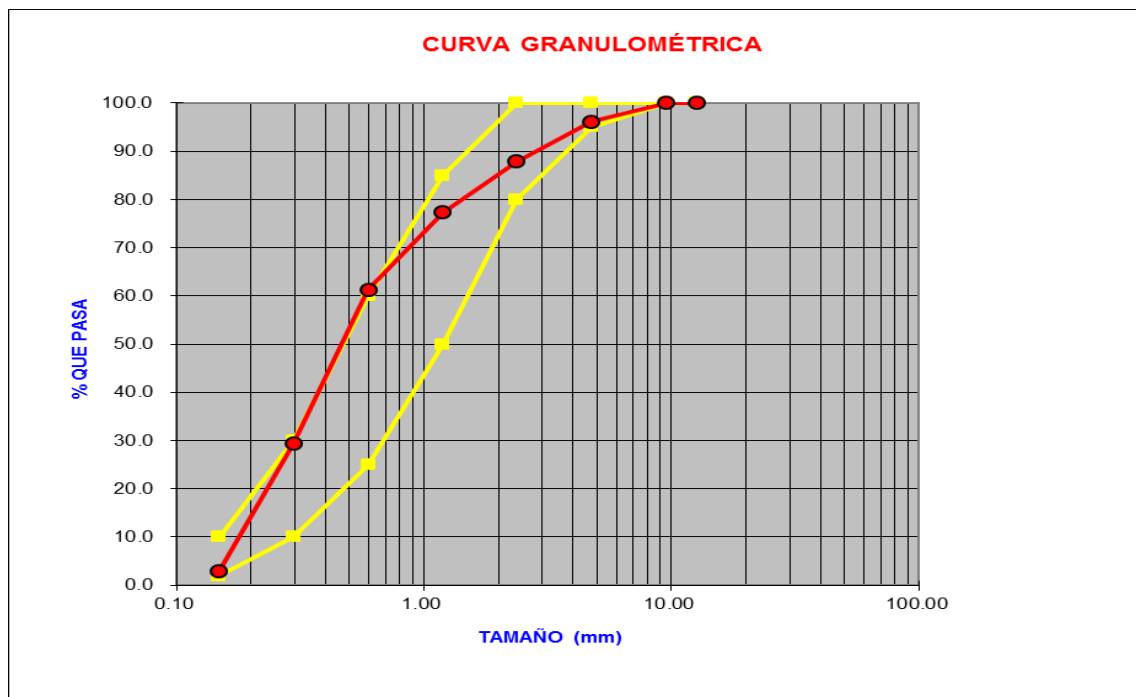
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBRA: TESIS
 LOCALIZACION:
 ORIGEN Y DESCRIPCION: Arena
 MUESTRA:

SOLICITA: J.ZAPATA / S. OUEDRAOGO
 ATENCION:
 NORMA INEN: 696
 NORMA ASTM: C-136
 FECHA:

GRANULOMETRIA POR MALLAS DEL AGREGADO FINO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. % QUE PASA
1/2"	12.70	0.0	0.0	0.0	100.0	100
3/8"	9.51	0.0	0.0	0.0	100.0	100
No. 4	4.76	20.0	20.0	3.9	96.1	95-100
No. 8	2.36	42.0	62.0	12.1	87.9	80-100
No. 16	1.19	54.0	116.0	22.7	77.3	50-85
No. 30	0.60	82.0	198.0	38.7	61.3	25-60
No. 50	0.30	163.0	361.0	70.6	29.4	10-30
No. 100	0.149	135.0	496.0	97.1	2.9	2-10
P A S A No 100		15.0	54.0			
SUMA:		511.0	511.0			
TAMAÑO MAXIMO:			1/2"			



ANEXO 4: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL FINO

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBRA: TESIS

SOLICITA:

LOCALIZACIO:

NORMA INEN:

ORIGEN Y DESCRIPCION:

NORMA ASTM:

RECEPCION:

FECHA:

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL A. FINO

Gravedad específica seca = $A / (B + S - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca = $S / (B + S - C)$

Gravedad específica aparente = $A / (B + A - C)$

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,24	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	649,24	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	950,80	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	478,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge	=	2,41
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges	=	2,52
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea	=	2,71
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab	=	4,60 %

ANEXO 5: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL GRUESO

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBRA: TESIS

SOLICITA:

LOCALIZACION:

NORMA INEN:

ORIGEN Y DESCRIPCION:

NORMA ASTM:

RECEPCION:

FECHA:

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL A. GRUESO

Gravedad específica seca = $A / (B - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca = $B / (B - C)$

Gravedad específica aparente = $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA = A 4747, g
= 00 r

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA = B 4871, g
= 00 r

MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA = C 2867, g
= 00 r

GRAVEDAD ESPECIFICA SECA = Ge 2,37

GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA = Ges 2,43

GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE = Gea 2,53

PORCENTAJE DE ABSORCION = Ab 2,61 %

ANEXO 6: PESO UNITARIO AGREGADO FINO

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBRA: TESIS

SOLICITA:

LOCALIZACION:

NORMA INEN:

ORIGEN Y DESCRIPCION:

NORMA ASTM:

RECEPCION:

FECHA:

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

MASA

MOLDE

$$P = 5050,0 \text{ gr}$$

VOLUMEN

MOLDE

$$V = 2980,0 \text{ cm}^3$$

MASA MOLDE +

MATERIAL SUELTO

$$A = 9200,0 \text{ gr}$$

MASA MOLDE +

MATERIAL COMPACTO

$$B = 9665,0 \text{ gr}$$

MASA DEL MATERIAL

SUELTO

$$M_s = A - P \\ = 4150,0 \text{ gr}$$

MASA DEL MATERIAL

COMPACTO

$$M_c = B - P \\ = 4615,0 \text{ gr}$$

$$M_s / V$$

PESO UNITARIO SUELTO

$$= 1393 \text{ kg / m}^3$$

PESO UNITARIO

COMPACTO

$$M_c / V \\ = 1549 \text{ kg / m}^3$$

ANEXO 7: PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBRA: TESIS

SOLICITA:

LOCALIZACION:

NORMA INEN:

ORIGEN Y DESCRIPCION:

NORMA ASTM:

RECEPCION:

FECHA:

PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO

MASA

MOLDE $P = 8550,0$ gr

VOLUMEN

MOLDE $V = 9950,0$ cm³

MASA MOLDE +

MATERIAL SUELTO $A = 20910,0$ gr

MASA MOLDE +

MATERIAL COMPACTO $B = 22005,0$ gr

MASA DEL MATERIAL

SUELTO $M_s = A - P = 12360,0$ gr

MASA DEL MATERIAL

COMPACTO $M_c = B - P = 13455,0$ gr

PESO UNITARIO SUELTO $M_s / V = 1242$ kg / m³

PESO UNITARIO

COMPACTO $M_c / V = 1352$ kg / m³

ANEXO 8: DOSIFICACIÓN ACI

Construcción de Concreto	Revenimiento, mm (pulg.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Hormigón en masa	75 (3)	25 (1)

Tabla 9-6. Revenimientos Recomendados para Varios Tipos de Construcción. Adaptada del ACI 211.1.

	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados							
Revenimiento, mm	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a175	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición leve	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

Tabla 9-5. (Métrica). Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados

gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Resistencia compresión 28 días kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P, (Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0.42	0.33
350 (35)	0.47	0.38
300 (30)	0.54	0.43
250 (25)	0.61	0.50
200 (20)	0.69	0.58
150 (15)	0.79	0.67

Tabla 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Adaptada del ACI 211.1 y ACI 211.3.

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.

Condición de exposición	Relación a/c máxima en masa	Resistencia min, f' _c , kg/cm ² (MPa) [lb/pulg. ²]
Concreto protegido de la exposición	Elija basándose en la	Elija basándose en los

congelación-deshielo, descongelantes y sustancias agresivas	resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado	requisitos estructurales
Concreto con baja permeabilidad, expuesto al agua	0.50	280 (28) [4000]
Concreto expuesto a congelación-deshielo en la condición húmeda y a descongelantes	0.45	320 (31) [4500]
Para protección del concreto reforzado expuesto a cloruros	0.40	360 (35) [5000]

Tabla 9-1. Relación Agua-Material Cementante Máxima y Resistencia de Diseño Mínima para Varias Condiciones de Exposición. Adaptada del ACI 318 (2002).

Tamaño max del agregado, mm (pulg.)	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 9-4. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1

EJEMPLO DOSIFICACIÓN ACI

HOJA DE CALCULO EXCEL PROPORCIONADO POR EL ING. LAURO LARA

REQUERIMIENTOS

$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

asentamiento= 10 cm.

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

% abs.fino _____ 4.60

Ga(agr.) = 2.475

%ab.grueso _____ 2.61

Gc= 3.05

%hn.fino _____ 5.36

TMN 25.4 mm

%hn.grueso _____ 1.71

VALORES DE TABLAS

CALCULOS

1.- Agua neta y aire (tabla A.1.5.3.3.)=>se ingresa con asen.y TM(Hormigón sin aire incluido)

Agua neta _____ 169Kg/M³

Aire(%) _____ 0.5

2.- Relación agua/cemento (valor interpolado)

2.1.- Se define el coeficiente de seguridad

% de Segur.= 6

2.2.- Se calcula f'_c de diseño, y de la tabla 19(Nacionales) ó A1.5.3.4(a)(Extranjeros) se obtiene a/c

$$f'_c \text{ diseño} = f'_c \text{ req} * (1 + \% \text{seg} / 100)$$

$$f'_c \text{ diseño} = 222.6 \text{ Kg/cm}^2$$

3.- Se calcula el Cemento= agua neta/relación (a/c)

a/c= 0.5438

INTERPOLACION TABLA 19

TABLA 19	
150	0.67
200	0.58
250	0.5
300	0.43
350	0.38

Cemento = 311 Kg/M³

4.- Se calcula los agregados en estado S.S.S.= Um-Agua neta-Cemento

4.2.- Se calcula el Peso unitario del Hormigón (Um)

$$Um = 10Ga(100-A) + Cm(1-Ga/Gc) - Wm(Ga-1)$$

Ga= Gravedad específica sss, promedio, del agregado fino y grueso

Gc= Gravedad específica del cemento (aproximadamente 3,15)

A= % de Aire contenido

Wm= Agua neta (Kg/M³)

Cm= Cemento requerido (Kg/M³)

$$Um (Puh) = 2272 \text{ Kg/M}^3$$

$$\text{Agregados (sss)} = 1792 \text{ Kg/M}^3$$

4.1.- se establece el % de agregado fino y grueso (% de fino varía de 35 a 50 %)

% fino ___43.0

% grueso ___57.0

4.3.- Arena (sss)= % finos/100* Agregados(sss)

Kg/M³

Arena(sss)= 771

4.4.- Ripio (sss)= % gruesos/100* Agregados(sss)

Kg/M³

Ripio(sss)= 1022

5.- Se calcula los agregados en estado natural

5.1.- Masa seca = Masa (sss)/(1+% Ab/100)

5.2- Masa natural=Masa seca* (1+% humedad natural/100))

Ripio (se)= 996 Kg/M³

Arena (se)= 737 Kg/M³

Ripio nat. 1013 Kg/M³

Arena nat. 776 Kg/M³

6.- Se calcula el agua de mezcla

6.1 Agua de mezcla=agua neta+arena seca(% ab-% hn)/100+ripio seco(% ab-% hn)/100

Agua mezcla_____172 Kg/M³

		gr.
RESUMEN	Kg/M ³	0.020
Agua mez.	172.4	3447
Cemento	310.8	6215
Arena nat.	776.2	15525
Ripio nat.	<u>1012.6</u>	20252
	2271.9	

ANEXO 9. DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

No.	CILINDROS	RELACION A/C	CARGA MAX 7 días (kN)	DIAMETROS (mm)		DIAM. PROM.(cm)	CARGA MAX (Kg)	AREA (cm ²)	RESISTENCIA (kg/cm ²) 7 DIAS
1	180 SF	0.585	264	151.5	151.4	15.145	26938.776	180.148	149.54
2		0.585	262	151	151.7	15.135	26734.694	179.910	148.60
3		0.585	267	150.7	150	15.035	27244.898	177.541	153.46
4		0.585	258	152.1	152.3	15.22	26326.531	181.937	144.70
5		0.585	269	151.6	151.8	15.17	27448.980	180.743	151.87
1	180 0,05%FV	0.585	331	151.9	152	15.195	33775.510	181.339	186.26
2		0.585	335	150	151.7	15.085	34183.673	178.723	191.27
3		0.585	323	151	151.7	15.135	32959.184	179.910	183.20
4		0.585	332	152.6	153.5	15.305	33877.551	183.974	184.14
5		0.585	325	152	152.4	15.22	33163.265	181.937	182.28
1	180 0,3%FV	0.585	301	151.6	151.9	15.175	30714.286	180.862	169.82
2		0.585	308	151	152.6	15.18	31428.571	180.982	173.66
3		0.585	303	152	151.7	15.185	30918.367	181.101	170.72
4		0.585	286	151	151	15.1	29183.673	179.079	162.97
5		0.585	298	151.2	151.4	15.13	30408.163	179.791	169.13
1	180 0,6% FV	0.585	292	151.8	152.1	15.195	29795.918	181.339	164.31
2		0.585	296	152.9	153.3	15.31	30204.082	184.095	164.07
3		0.585	285	152.3	152.1	15.22	29081.633	181.937	159.84
4		0.585	289	151.6	152.3	15.195	29489.796	181.339	162.62
5		0.585	282	152.4	151.9	15.215	28775.510	181.817	158.27
1	210 SF	0.523	264	153.6	153.55	15.3575	26938.776	185.239	145.43
2		0.523	259	150.3	152.4	15.135	26428.571	179.910	146.90

3		0.523	262	152.2	151.8	15.2	26734.694	181.459	147.33
4		0.523	269	151.4	152	15.17	27448.980	180.743	151.87
5		0.523	266	152.7	152.1	15.24	27142.857	182.415	148.80
1	210 0,05% FV	0.523	317	152.5	151.6	15.205	32346.939	181.578	178.14
2		0.523	302	150.9	151.6	15.125	30816.327	179.673	171.51
3		0.523	306	152	153	15.25	31224.490	182.655	170.95
4		0.523	297	153	152.4	15.27	30306.122	183.134	165.49
5		0.523	303	152	151.7	15.185	30918.367	181.101	170.72
1	210 0,3% FV	0.523	293	152	151	15.15	29897.959	180.267	165.85
2		0.523	291	152	152	15.2	29693.878	181.459	163.64
3		0.523	298	151	152	15.15	30408.163	180.267	168.68
4		0.523	287	151	152	15.15	29285.714	180.267	162.46
5		0.523	294	152	151	15.15	30000.000	180.267	166.42
1	210 0,6% FV	0.523	280	151.4	151.6	15.15	28571.429	180.267	158.50
2		0.523	277	153	152	15.25	28265.306	182.655	154.75
3		0.523	274	152.1	152	15.205	27959.184	181.578	153.98
4		0.523	269	152	151	15.15	27448.980	180.267	152.27
5		0.523	276	152	151	15.15	28163.265	180.267	156.23
1	280 SF	0.435	421	154.9	143.1	14.9	42959.184	174.367	246.37
2		0.435	430	151.1	150.8	15.095	43877.551	178.960	245.18
3		0.435	423	151.5	151.4	15.145	43163.265	180.148	239.60
4		0.435	416	151.6	151.1	15.135	42448.980	179.910	235.95
5		0.435	422	151.7	151.4	15.155	43061.224	180.386	238.72
1	280 0,05% FV	0.435	405	151.4	151.2	15.13	41326.531	179.791	229.86
2		0.435	413	150.5	150.8	15.065	42142.857	178.250	236.43
3		0.435	411	151.5	151.7	15.16	41938.776	180.505	232.34
4		0.435	408	151.1	151.4	15.125	41632.653	179.673	231.71

5		0.435	403	151.7	152.1	15.19	41122.449	181.220	226.92
1	280 0,3% FV	0.435	441	151.9	152.1	15.2	45000.000	181.459	247.99
2		0.435	436	152.2	152	15.21	44489.796	181.698	244.86
3		0.435	431	151.8	152.4	15.21	43979.592	181.698	242.05
4		0.435	438	152.4	152.1	15.225	44693.878	182.056	245.49
5		0.435	434	152.1	152.3	15.22	44285.714	181.937	243.41
1	280 0,6% FV	0.435	378	153.8	152.6	15.32	38571.429	184.335	209.25
2		0.435	372	150	151.2	15.06	37959.184	178.132	213.10
3		0.435	369	151.4	152.5	15.195	37653.061	181.339	207.64
4		0.435	388	152	152.1	15.205	39591.837	181.578	218.04
5		0.435	383	153.2	153	15.31	39081.633	184.095	212.29

No.	CILINDROS	RELACION A/C	CARGA MAX (kN)	DIAMETROS (mm)		DIAM. PROM.(cm)	CARGA MAX (Kg)	AREA (cm2)	RESISTENCIA (kg/cm2) 28 DIAS
1	180 SF	0.585	403	151.8	151.6	15.17	41122.449	180.743	227.52
2		0.585	400	151.8	152	15.19	40816.327	181.220	225.23
3		0.585	404	151.6	152	15.18	41224.490	180.982	227.78
4		0.585	398	151.9	151.8	15.185	40612.245	181.101	224.25
5		0.585	408	152	152	15.2	41632.653	181.459	229.43
1	180 0,05%FV	0.585	501	152	151	15.15	51122.449	180.267	283.59
2		0.585	507	152	151.8	15.19	51734.694	181.220	285.48
3		0.585	492	151.9	151.9	15.19	50204.082	181.220	277.03
4		0.585	503	152	151.8	15.19	51326.531	181.220	283.23
5		0.585	496	151.3	152.1	15.17	50612.245	180.743	280.02
1	180 0,3%FV	0.585	448	151.9	151.9	15.19	45714.286	181.220	252.26
2		0.585	459	151.7	152	15.185	46836.735	181.101	258.62
3		0.585	455	153.13	154.14	15.3635	46428.571	185.384	250.45
4		0.585	427	151.9	151.8	15.185	43571.429	181.101	240.59
5		0.585	450	151.9	151.3	15.16	45918.367	180.505	254.39
1	180 0,6% FV	0.585	429	152	152	15.2	43775.510	181.459	241.24
2		0.585	433	151.9	151.8	15.185	44183.673	181.101	243.97
3		0.585	422	151.8	152	15.19	43061.224	181.220	237.62
4		0.585	424	151.2	151	15.11	43265.306	179.316	241.28
5		0.585	418	152	152	15.2	42653.061	181.459	235.06
1	210 SF	0.523	388	150.5	150.1	15.03	39591.837	177.423	223.15
2		0.523	383	151.8	151.1	15.145	39081.633	180.148	216.94
3		0.523	381	151.8	151.3	15.155	38877.551	180.386	215.52

4		0.523	392	150.8	151	15.09	40000.000	178.842	223.66
5		0.523	396	151	151.2	15.11	40408.163	179.316	225.35
1	210 0,05% FV	0.523	465	154.2	153.3	15.375	47448.980	185.661	255.57
2		0.523	446	152.5	152.3	15.24	45510.204	182.415	249.49
3		0.523	451	151.9	151.4	15.165	46020.408	180.624	254.79
4		0.523	434	151.5	152	15.175	44285.714	180.862	244.86
5		0.523	449	151.8	152	15.19	45816.327	181.220	252.82
1	210 0,3% FV	0.523	433	152	151.2	15.16	44183.673	180.505	244.78
2		0.523	425	151.2	151.8	15.15	43367.347	180.267	240.57
3		0.523	429	151.9	152.2	15.205	43775.510	181.578	241.08
4		0.523	421	151.6	151	15.13	42959.184	179.791	238.94
5		0.523	431	151	152	15.15	43979.592	180.267	243.97
1	210 0,6% FV	0.523	408	151.8	152	15.19	41632.653	181.220	229.74
2		0.523	402	150.5	151	15.075	41020.408	178.487	229.82
3		0.523	398	151.5	151	15.125	40612.245	179.673	226.03
4		0.523	391	151.5	152.5	15.2	39897.959	181.459	219.87
5		0.523	400	152	152	15.2	40816.327	181.459	224.93
1	280 SF	0.435	593	151.9	151.2	15.155	60510.204	180.386	335.45
2		0.435	606	151.8	151.9	15.185	61836.735	181.101	341.45
3		0.435	596	151.8	152	15.19	60816.327	181.220	335.59
4		0.435	587	151.8	151.9	15.185	59897.959	181.101	330.74
5		0.435	595	152.1	152.1	15.21	60714.286	181.698	334.15
1	280 0,05% FV	0.435	571	152	152	15.2	58265.306	181.459	321.09
2		0.435	582	151.8	152	15.19	59387.755	181.220	327.71
3		0.435	579	151.4	151.7	15.155	59081.633	180.386	327.53
4		0.435	575	151.5	152	15.175	58673.469	180.862	324.41
5		0.435	569	151.9	152	15.195	58061.224	181.339	320.18

1	280 0,3% FV	0.435	615	151.8	151	15.14	62755.102	180.029	348.58
2		0.435	608	152.2	152.2	15.22	62040.816	181.937	341.00
3		0.435	601	151.2	151.5	15.135	61326.531	179.910	340.87
4		0.435	611	153.2	153.8	15.35	62346.939	185.058	336.91
5		0.435	605	151.5	151	15.125	61734.694	179.673	343.60
1	280 0,6% FV	0.435	534	151.9	152.1	15.2	54489.796	181.459	300.29
2		0.435	525	151.9	152	15.195	53571.429	181.339	295.42
3		0.435	521	152	151	15.15	53163.265	180.267	294.91
4		0.435	546	151.9	151.6	15.175	55714.286	180.862	308.05
5		0.435	542	152	151.8	15.19	55306.122	181.220	305.19

ANEXO 10. DATOS DE LABORATORIO ENSAYO DE FLEXIÓN

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/28

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	180 SF	180 SF	180 SF	180 SF	180 SF	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	
Fecha de fabricación	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	
Fecha de ensayo	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	561.00	560.00	560.00	561.00	
Ancho (mm)	155.00	154.00	154.00	155.00	154.00	
Altura (mm)	155.00	153.00	152.00	156.00	153.00	
Volúmen (mm ³)	13454000.00	13218282.00	13108480.00	13540800.00	13218282.00	
Masa (gr)	28960.00	28770.00	28510.00	29460.00	29390.00	
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.15	2.18	2.17	2.18	2.22	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	29.66	27.76	25.24	31.20	26.49	
Módulo de rotura (MPa)	3.6	3.5	3.2	3.7	3.3	
Módulo de rotura (Kg/cm ²)	36.52	35.29	32.54	37.94	33.76	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/04/02

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	180-0,05%FV	180-0,05%FV	180-0,05%FV	180-0,05%FV	180-0,05%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	
Fecha de fabricación	2013/04/02	2013/04/02	2013/04/02	2013/04/02	2013/04/02	
Fecha de ensayo	2013/04/30	2013/04/30	2013/04/30	2013/04/30	2013/04/30	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	155.00	154.00	156.00	155.00	155.00	
Altura (mm)	154.00	154.00	155.00	154.00	154.00	
Volúmen (mm³)	13367200.00	13280960.00	13540800.00	13367200.00	13367200.00	
Masa (gr)	29180.00	29610.00	29530.00	29520.00	29190.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.18	2.23	2.18	2.21	2.18	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	36.37	40.67	39.34	34.60	37.85	
Módulo de rotura (MPa)	4.5	5.0	4.7	4.2	4.6	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	45.39	51.10	48.14	43.25	47.23	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
 OUEDRAOGO
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/04/01
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23
RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	180-0,3%FV	180-0,3%FV	180-0,3%FV	180-0,3%FV	180-0,3%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	
Fecha de fabricación	2013/04/01	2013/04/01	2013/04/01	2013/04/01	2013/04/01	
Fecha de ensayo	2013/04/29	2013/04/29	2013/04/29	2013/04/29	2013/04/29	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	560.00	559.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	156.00	154.00	155.00	155.00	155.00	
Altura (mm)	155.00	154.00	155.00	155.00	154.00	
Volúmen (mm³)	13540800.00	13280960.00	13429975.00	13454000.00	13367200.00	
Masa (gr)	29480.00	29630.00	29590.00	29740.00	29540.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.18	2.23	2.20	2.21	2.21	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	38.43	35.76	37.34	34.72	31.05	
Módulo de rotura (MPa)	4.6	4.4	4.5	4.2	3.8	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	47.02	44.98	46.00	42.84	38.76	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/04/03

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	180 - 0,6%FV	180 - 0,6%FV	180 - 0,6%FV	180 - 0,6%FV	180 - 0,6%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	
Fecha de fabricación	2013/04/03	2013/04/03	2013/04/03	2013/04/03	2013/04/03	
Fecha de ensayo	2013/05/02	2013/05/02	2013/05/02	2013/05/02	2013/05/02	
Edad (días)	29	29	29	29	29	
Longitud (mm)	560.00	560.00	561.00	561.00	560.00	
Ancho (mm)	154.00	153.00	153.00	154.00	153.00	
Altura (mm)	153.00	152.00	154.00	155.00	153.00	
Volúmen (mm³)	13194720.00	13023360.00	13218282.00	13391070.00	13109040.00	
Masa (gr)	29310.00	28810.00	28850.00	28890.00	28690.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.22	2.21	2.18	2.16	2.19	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	36.86	31.61	38.61	38.26	37.50	
Módulo de rotura (MPa)	4.6	4.0	4.8	4.7	4.7	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	46.92	41.00	48.86	47.43	48.04	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
 OUEDRAOGO
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/13
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	210 SF 1	210 SF 2	210 SF 3			
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.88	2.88	2.88			
Fecha de fabricación	2013/03/13	2013/03/13	2013/03/13			
Fecha de ensayo	2013/04/10	2013/04/10	2013/04/10			
Edad (días)	28	28	28			
Longitud (mm)	561.00	561.00	556.00			
Ancho (mm)	154.00	152.00	154.00			
Altura (mm)	150.50	151.00	150.00			
Volúmen (mm³)	13002297.00	12876072.00	12843600.00			
Masa (gr)	28470.00	28380.00	29170.00			
Peso Unitario (gr/cm³)	2.19	2.20	2.27			
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00			
Carga máxima (KN)	26.84	25.78	27.44			
Módulo de rotura (MPa)	3.5	3.4	3.6			
Módulo de rotura (Kg/cm²)	35.29	34.17	36.31			

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/22
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	210-0,05%FV	210-0,05%FV	210-0,05%FV	210-0,05%FV	210-0,05%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	
Fecha de fabricación	2013/03/22	2013/03/22	2013/03/22	2013/03/22	2013/03/22	
Fecha de ensayo	2013/04/19	2013/04/19	2013/04/19	2013/04/19	2013/04/19	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	153.00	153.00	149.00	152.00	153.00	
Altura (mm)	154.00	152.00	154.00	152.00	152.00	
Volúmen (mm³)	13194720.00	13023360.00	12849760.00	12938240.00	13023360.00	
Masa (gr)	29980.00	29050.00	29250.00	29340.00	29440.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.27	2.23	2.28	2.27	2.26	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	38.97	32.12	34.76	36.88	36.29	
Módulo de rotura (MPa)	4.8	4.1	4.4	4.7	4.6	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	49.27	41.72	45.19	48.25	47.12	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/14
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	
Fecha de fabricación	2013/03/14	2013/03/14	2013/03/14	2013/03/14	2013/03/14	
Fecha de ensayo	2013/04/11	2013/04/11	2013/04/11	2013/04/11	2013/04/11	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	585.00	590.00	559.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	155.20	155.00	154.00	155.00	158.00	
Altura (mm)	153.80	155.00	153.00	154.00	156.00	
Volúmen (mm ³)	13963809.60	14174750.00	13171158.00	13367200.00	13802880.00	
Masa (gr)	29370.00	29360.00	29250.00	29190.00	29370.00	
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.10	2.07	2.22	2.18	2.13	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	36.94	37.39	40.80	38.91	33.47	
Módulo de rotura (MPa)	4.5	4.5	5.1	4.8	3.9	
Módulo de rotura (Kg/cm ²)	46.21	46.10	51.92	48.55	39.98	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/21

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	210 - 0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	
Fecha de fabricación	2013/03/21	2013/03/21	2013/03/21	2013/03/21	2013/03/21	
Fecha de ensayo	2013/04/18	2013/04/18	2013/04/18	2013/04/18	2013/04/18	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	561.00	561.00	561.00	561.00	559.00	
Ancho (mm)	153.00	152.00	152.00	155.00	154.00	
Altura (mm)	150.00	154.00	153.00	153.00	152.00	
Volúmen (mm³)	12874950.00	13131888.00	13046616.00	13304115.00	13085072.00	
Masa (gr)	28570.00	29130.00	28650.00	29240.00	29070.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.22	2.22	2.20	2.20	2.22	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	36.55	42.98	39.39	34.59	42.11	
Módulo de rotura (MPa)	4.8	5.4	5.0	4.3	5.3	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	48.76	54.77	50.80	43.76	54.37	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
 OUEDRAOGO
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/19
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23
RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	280 SF	280 SF	280 SF	280 SF	280 SF	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	
Fecha de fabricación	2013/03/19	2013/03/19	2013/03/19	2013/03/19	2013/03/19	
Fecha de ensayo	2013/04/16	2013/04/16	2013/04/16	2013/04/16	2013/04/16	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	563.00	562.00	562.00	560.00	
Ancho (mm)	156.00	156.00	155.00	154.00	154.00	
Altura (mm)	155.00	154.00	152.00	154.00	154.00	
Volúmen (mm ³)	13540800.00	13525512.00	13240720.00	13328392.00	13280960.00	
Masa (gr)	29100.00	29900.00	29940.00	29060.00	29370.00	
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.15	2.21	2.26	2.18	2.21	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	40.00	45.40	44.05	39.63	41.83	
Módulo de rotura (MPa)	4.8	5.5	5.5	4.9	5.2	
Módulo de rotura (Kg/cm ²)	48.96	56.30	56.41	49.78	52.53	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:** OUEDRAOGO
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE** 2013/03/27
MUESTRA: **FECHA DE IMPRESIÓN:** 2014/04/23
RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	280-0,05%FV	280-0,05%FV	280-0,05%FV	280-0,05%FV	280-0,05%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	
Fecha de fabricación	2013/03/27	2013/03/27	2013/03/27	2013/03/27	2013/03/27	
Fecha de ensayo	2013/04/24	2013/04/24	2013/04/24	2013/04/24	2013/04/24	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	155.00	154.00	152.00	150.00	153.00	
Altura (mm)	153.00	152.00	155.00	153.00	154.00	
Volúmen (mm ³)	13280400.00	13108480.00	13193600.00	12852000.00	13194720.00	
Masa (gr)	29020.00	29010.00	28980.00	28820.00	29080.00	
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.19	2.21	2.20	2.24	2.20	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	34.71	40.13	36.35	34.91	36.92	
Módulo de rotura (MPa)	4.3	5.1	4.5	4.5	4.6	
Módulo de rotura (Kg/cm ²)	43.86	51.82	45.70	45.59	46.72	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/25

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	280-0,3%FV	280-0,3%FV	280-0,3%FV	280-0,3%FV	280-0,3%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	
Fecha de fabricación	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	
Fecha de ensayo	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	153.00	156.00	154.00	155.00	154.00	
Altura (mm)	154.00	155.00	152.00	153.00	154.00	
Volúmen (mm³)	13194720.00	13540800.00	13108480.00	13280400.00	13280960.00	
Masa (gr)	29170.00	29490.00	29200.00	29210.00	29250.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.21	2.18	2.23	2.20	2.20	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	43.20	40.09	40.39	47.52	46.83	
Módulo de rotura (MPa)	5.4	4.8	5.1	5.9	5.8	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	54.67	49.06	52.12	60.08	58.85	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
CARGA EN EL TERCIO MEDIO

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
 OUEDRAOGO
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2013/03/26
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23
RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Identificación de la probeta	280 - 0,6%FV	280 - 0,6%FV	280 - 0,6%FV	280 - 0,6%FV	280 - 0,6%FV	
Módulo de rotura esperado a los 28 días (MPa)	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	
Fecha de fabricación	2013/03/26	2013/03/26	2013/03/26	2013/03/26	2013/03/26	
Fecha de ensayo	2013/04/23	2013/04/23	2013/04/23	2013/04/23	2013/04/23	
Edad (días)	28	28	28	28	28	
Longitud (mm)	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00	
Ancho (mm)	155.00	154.00	155.00	154.00	153.00	
Altura (mm)	156.00	154.00	154.00	155.00	154.00	
Volúmen (mm³)	13540800.00	13280960.00	13367200.00	13367200.00	13194720.00	
Masa (gr)	29570.00	28380.00	28090.00	28990.00	28240.00	
Peso Unitario (gr/cm³)	2.18	2.14	2.10	2.17	2.14	
Distancia entre apoyos (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	
Carga máxima (KN)	38.64	40.93	38.97	40.51	38.21	
Módulo de rotura (MPa)	4.6	5.0	4.8	4.9	4.7	
Módulo de rotura (Kg/cm²)	47.02	51.41	48.65	50.29	48.35	

$$1\text{MPa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

ANEXO 11. DATOS DE LABORATORIO ENSAYO BRASILEIRO

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE HORMIGON

JAIME
ZAPATA /
SALEF
OUEDRAOGO

PROYECTO: TESIS SOLICITA: FISCALIZACIÓN:
LOCALIZACION: MUESTRA: CONTRATISTA:
NORMA : ASTM C 78 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2013/03/28
RECEPCION N° FECHA DE EMISIÓN: 2013/04/25
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Descripción de la muestra	180 SF6	180 SF15	180 SF13	180 SF8	180 SF7
Resistencia esperada a la compresión a los 28 días (MPa)	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76
Elemento	CILINDRO				
Fecha de fabricación	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28
Fecha de rotura	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	304.00	306.00	304.00	305.00	305.00
Diámetro 1 (mm)	154.30	152.00	150.90	152.00	152.00
Diámetro 2 (mm)	153.70	151.00	152.60	152.00	151.80
Diámetro promedio (mm)	154.00	151.50	151.75	152.00	151.90
Area (mm ²)	18626.50	18026.65	18086.20	18145.84	18121.97
Volumen (mm ³)	5662456.86	5516156.43	5498204.19	5534480.95	5527201.13
Masa (gr)	12.46	12.35	12.25	12.31	12.04
Peso unitario (gr/cm ³)	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
Carga de ruptura (kN)	199.00	208.00	192.00	197.00	217.00
Resistencia (MPa)	2.71	2.86	2.65	2.71	2.98

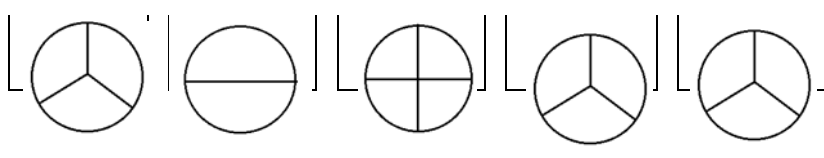
OBSERVACIONES:

Unidades de conversión: 1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

ANEXO 12. DATOS DE LABORATORIO ENSAYO DE IMPACTO

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF OUEDRAOGO
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**
NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23
RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	180 SF	180 SF	180 SF	180 SF	180 SF
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
Fecha de fabricación	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28	2013/03/28
Fecha de rotura	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25	2013/04/25
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	61.0	58.0	57.0	55.0	62.0
Diámetro 1 (mm)	151.90	151.90	151.90	151.90	151.90
Diámetro 2 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro promedio (mm)	151.95	151.95	151.95	151.95	151.95
Área (mm ²)	18133.90	18133.90	18133.90	18133.90	18133.90
Volumen (mm ³)	1106168.09	1051766.38	1033632.48	997364.67	1124301.99
Masa (gr)	2.46	2.27	2.31	2.21	2.46
N° Golpes (1ra grieta)	13	9	8	10	14
N° Golpes (falla)	13	9	8	10	14
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	287.1	198.8	176.7	220.8	309.2
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
NORMA DE REFERENCIA: cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**
ACI 544.2R-78 **FECHA DE IMPRESIÓN:** 2014/04/23

RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	180-0,05%FV	180-0,05%FV	180-0,05%FV	180-0,05%FV	180-0,05%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
Fecha de fabricación	2013/04/02	2013/04/02	2013/04/02	2013/04/02	2013/04/02
Fecha de rotura	2013/04/30	2013/04/30	2013/04/30	2013/04/30	2013/04/30
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	63.0	55.0	58.0	56.0	55.0
Diámetro 1 (mm)	151.00	151.00	151.00	151.00	151.00
Diámetro 2 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro promedio (mm)	151.50	151.50	151.50	151.50	151.50
Área (mm ²)	18026.65	18026.65	18026.65	18026.65	18026.65
Volumen (mm ³)	1135679.26	991466.02	1045545.99	1009492.68	991466.02
Masa (gr)	2.57	2.23	2.38	2.29	2.18
N° Golpes (1ra grieta)	35	36	35	35	36
N° Golpes (falla)	36	38	36	35	37
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	795.0	839.2	795.0	773.0	817.1
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
NORMA DE REFERENCIA: cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**
ACI 544.2R-78 **FECHA DE IMPRESIÓN:** 2014/04/23

RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
Fecha de fabricación	2013/04/01	2013/04/01	2013/04/01	2013/04/01	2013/04/01
Fecha de rotura	2013/04/29	2013/04/29	2013/04/29	2013/04/29	2013/04/29
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	58.0	58.0	55.0	60.1	60.0
Diámetro 1 (mm)	151.90	151.90	151.90	151.90	151.90
Diámetro 2 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro promedio (mm)	151.95	151.95	151.95	151.95	151.95
Área (mm ²)	18133.90	18133.90	18133.90	18133.90	18133.90
Volumen (mm ³)	1051766.38	1051766.38	997364.67	1089847.58	1088034.18
Masa (gr)	2.41	2.28	2.24	2.34	2.39
N° Golpes (1ra grieta)	36	41	37	38	40
N° Golpes (falla)	37	43	39	39	41
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	817.1	949.6	861.3	861.3	905.5
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
Fecha de fabricación	2013/04/03	2013/04/03	2013/04/03	2013/04/03	2013/04/03
Fecha de rotura	2013/05/02	2013/05/02	2013/05/02	2013/05/02	2013/05/02
Edad (días)	29	29	29	29	29
Altura (mm)	60.0	62.0	57.0	55.0	59.0
Diámetro 1 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro 2 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro promedio (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Área (mm ²)	18145.84	18145.84	18145.84	18145.84	18145.84
Volumen (mm ³)	1088750.35	1125042.03	1034312.83	998021.15	1070604.51
Masa (gr)	2.39	2.38	2.24	2.18	2.33
N° Golpes (1ra grieta)	49	48	46	46	49
N° Golpes (falla)	51	49	48	49	52
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	1126.3	1082.1	1060.0	1082.1	1148.4
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	210 SF	210 SF	210 SF	210 SF	210 SF
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
Fecha de fabricación	2013/03/13	2013/03/13	2013/03/13	2013/03/13	2013/03/13
Fecha de rotura	2013/04/10	2013/04/10	2013/04/10	2013/04/10	2013/04/10
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	60.1	58.7	56.7	60.0	60.0
Diámetro 1 (mm)	152.24	152.24	152.24	152.24	152.24
Diámetro 2 (mm)	152.19	152.19	152.19	152.19	152.19
Diámetro promedio (mm)	152.22	152.22	152.22	152.22	152.22
Área (mm ²)	18197.21	18197.21	18197.21	18197.21	18197.21
Volumen (mm ³)	1093652.27	1068176.17	1031781.76	1091832.55	1091832.55
Masa (gr)	2.39	2.34	2.32	2.36	2.44
N° Golpes (1ra grieta)	21	17	22	18	19
N° Golpes (falla)	21	17	22	18	19
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	463.8	375.4	485.9	397.5	419.6
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	210-0,05%FV	210-0,05%FV	210-0,05%FV	210-0,05%FV	210-0,05%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
Fecha de fabricación	2013/03/22	2013/03/22	2013/03/22	2013/03/22	2013/03/22
Fecha de rotura	2013/04/19	2013/04/19	2013/04/19	2013/04/19	2013/04/19
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	63.0	58.0	58.0	55.0	60.0
Diámetro 1 (mm)	151.00	151.00	151.00	151.00	151.00
Diámetro 2 (mm)	151.20	151.20	151.20	151.20	151.20
Diámetro promedio (mm)	151.10	151.10	151.10	151.10	151.10
Área (mm ²)	17931.59	17931.59	17931.59	17931.59	17931.59
Volumen (mm ³)	1129690.20	1040032.24	1040032.24	986237.47	1075895.42
Masa (gr)	2.56	2.29	2.26	2.18	2.38
N° Golpes (1ra grieta)	28	26	27	30	27
N° Golpes (falla)	29	27	27	31	28
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	640.4	596.3	596.3	684.6	618.4
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
cliente

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV	210-0,3%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
Fecha de fabricación	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25
Fecha de rotura	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	61.0	54.5	6.1	62.0	58.0
Diámetro 1 (mm)	151.11	151.11	151.11	151.11	151.11
Diámetro 2 (mm)	151.00	151.00	151.00	151.00	151.00
Diámetro promedio (mm)	151.06	151.06	151.06	151.06	151.06
Área (mm ²)	17920.91	17920.91	17920.91	17920.91	17920.91
Volumen (mm ³)	1093175.59	976689.67	109317.56	1111096.50	1039412.86
Masa (gr)	2.40	2.16	2.34	2.41	2.33
N° Golpes (1ra grieta)	37	40	41	41	40
N° Golpes (falla)	38	41	44	42	41
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	839.2	905.5	971.7	927.5	905.5
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV	210-0,6%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
Fecha de fabricación	2013/03/21	2013/03/21	2013/03/21	2013/03/21	2013/03/21
Fecha de rotura	2013/04/18	2013/04/18	2013/04/18	2013/04/18	2013/04/18
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	61.0	57.0	57.0	59.0	61.2
Diámetro 1 (mm)	151.20	151.20	151.20	151.20	151.20
Diámetro 2 (mm)	151.50	151.50	151.50	151.50	151.50
Diámetro promedio (mm)	151.35	151.35	151.35	151.35	151.35
Área (mm ²)	17990.98	17990.98	17990.98	17990.98	17990.98
Volumen (mm ³)	1097449.56	1025485.65	1025485.65	1061467.60	1101047.75
Masa (gr)	2.47	2.28	2.24	2.29	2.37
N° Golpes (1ra grieta)	63	58	55	57	56
N° Golpes (falla)	65	61	56	59	59
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	1435.5	1347.1	1236.7	1303.0	1303.0
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**


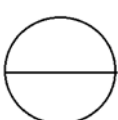

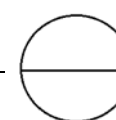

MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	280 SF	280 SF	280 SF	280 SF	280 SF
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
Fecha de fabricación	2013/03/19	2013/03/19	2013/03/19	2013/03/19	2013/03/19
Fecha de rotura	2013/04/16	2013/04/16	2013/04/16	2013/04/16	2013/04/16
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	60.1	57.0	59.0	60.0	58.0
Diámetro 1 (mm)	151.80	151.80	151.80	151.80	151.80
Diámetro 2 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro promedio (mm)	151.90	151.90	151.90	151.90	151.90
Área (mm ²)	18121.97	18121.97	18121.97	18121.97	18121.97
Volumen (mm ³)	1089130.45	1032952.34	1069196.28	1087318.26	1051074.31
Masa (gr)	2.41	2.26	2.34	2.43	2.29
N° Golpes (1ra grieta)	31	28	29	31	29
N° Golpes (falla)	31	29	30	31	31
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	684.6	640.4	662.5	684.6	684.6
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el **CONTRATISTA:**
NORMA DE cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE**
REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **MUESTRA:**
FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:
HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	280-0,05%FV	280-0,05%FV	280-0,05%FV	280-0,05%FV	280-0,05%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
Fecha de fabricación	2013/03/27	2013/03/27	2013/03/27	2013/03/27	2013/03/27
Fecha de rotura	2013/04/24	2013/04/24	2013/04/24	2013/04/24	2013/04/24
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	57.0	63.0	60.5	61.0	56.0
Diámetro 1 (mm)	151.80	151.80	151.80	151.80	151.80
Diámetro 2 (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Diámetro promedio (mm)	151.90	151.90	151.90	151.90	151.90
Área (mm ²)	18121.97	18121.97	18121.97	18121.97	18121.97
Volumen (mm ³)	1032952.34	1141684.17	1096379.24	1105440.23	1014830.37
Masa (gr)	2.22	2.46	2.38	2.44	2.26
N° Golpes (1ra grieta)	25	27	26	27	26
N° Golpes (falla)	26	28	27	28	27
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	574.2	618.4	596.3	618.4	596.3
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**



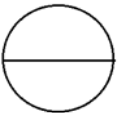

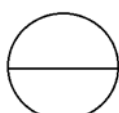
MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	280-0,3%FV	280-0,3%FV	280-0,3%FV	280-0,3%FV	280-0,3%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
Fecha de fabricación	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25	2013/03/25
Fecha de rotura	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22	2013/04/22
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	61.0	57.0	55.0	56.0	66.0
Diámetro 1 (mm)	151.90	151.90	151.90	151.90	151.90
Diámetro 2 (mm)	152.10	152.10	152.10	152.10	152.10
Diámetro promedio (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
Área (mm ²)	18145.84	18145.84	18145.84	18145.84	18145.84
Volumen (mm ³)	1106896.19	1034312.83	998021.15	1016166.99	1197625.39
Masa (gr)	2.44	2.28	2.16	2.23	2.67
N° Golpes (1ra grieta)	78	76	79	78	77
N° Golpes (falla)	79	77	81	79	79
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	1744.7	1700.5	1788.8	1744.7	1744.7
Tipo de falla					

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
IMPACTO EN CILINDROS DE HORMIGON

PROYECTO: TESIS **SOLICITA:** JAIME ZAPATA /SALEF OUEDRAOGO

LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**


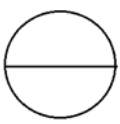



MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA DE REFERENCIA: ACI 544.2R-78 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**

FECHA DE IMPRESIÓN: 2014/04/23

RECEPCIÓN:

HOJA:

Probeta N°	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Identificación de la probeta	280-0,6%FV	280-0,6%FV	280-0,6%FV	280-0,6%FV	280-0,6%FV
Elemento	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO	CILINDRO
Resistencia esperada a los 28 días (MPa)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
Fecha de fabricación	2013/03/26	2013/03/26	2013/03/26	2013/03/26	2013/03/26
Fecha de rotura	2013/04/23	2013/04/23	2013/04/23	2013/04/23	2013/04/23
Edad (días)	28	28	28	28	28
Altura (mm)	61.0	53.0	60.0	61.0	58.0
Diámetro 1 (mm)	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
Diámetro 2 (mm)	150.50	150.50	150.50	150.50	150.50
Diámetro promedio (mm)	150.25	150.25	150.25	150.25	150.25
Área (mm ²)	17730.41	17730.41	17730.41	17730.41	17730.41
Volumen (mm ³)	1081555.17	939711.87	1063824.76	1081555.17	1028363.93
Masa (gr)	2.39	2.04	2.36	2.34	2.20
N° Golpes (1ra grieta)	155	153	153	154	154
N° Golpes (falla)	157	154	156	156	157
ENERGIA DE IMPACTO (MPa)	3467.2	3401.0	3445.2	3445.2	3467.2
Tipo de falla					

ANEXO 13. DATOS DEL ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

y su influencia en la medida de la resistencia a la compresión
del concreto

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180 SF 5
Altura (cm)	30.50
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.10
Carga máxima (KN)	430.00
Resistencia (MPa)	23.74
M.E. (kg/cm ²)	185447.91
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180 SF 5
Altura (cm)	30.40
Diámetro (cm)	15.18
Area (cm ²)	180.98
Carga máxima (KN)	404.00
Resistencia (MPa)	22.32
M.E. (kg/cm ²)	158302.34
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180 SF 5
Altura (cm)	30.40
Diámetro (cm)	15.20
Area (cm ²)	181.46
Carga máxima (KN)	462.00
Resistencia (MPa)	25.46
M.E. (kg/cm ²)	185082.08
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0.3%FV 3
Altura (cm)	30.40
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.10
Carga máxima (KN)	459.00
Resistencia (MPa)	25.35
M.E. (kg/cm ²)	159639.20
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0,3%FV 3
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.16
Area (cm ²)	180.50
Carga máxima (KN)	450.00
Resistencia (MPa)	24.93
M.E. (kg/cm ²)	208858.72
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0,3%FV 3
Altura (cm)	30.50
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.22
Carga máxima (KN)	448.00
Resistencia (MPa)	24.72
M.E. (kg/cm ²)	214799.29
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0,05%FV 6
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.22
Carga máxima (KN)	507.00
Resistencia (MPa)	27.98
M.E. (kg/cm ²)	199535.96
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0,05%FV 6
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.15
Area (cm ²)	180.27
Carga máxima (KN)	501.00
Resistencia (MPa)	27.79
M.E. (kg/cm ²)	215502.27
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0,05%FV 6
Altura (cm)	30.50
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.22
Carga máxima (KN)	492.00
Resistencia (MPa)	27.15
M.E. (kg/cm ²)	219130.39
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0,6%FV 13
Altura (cm)	30.50
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.10
Carga máxima (KN)	507.00
Resistencia (MPa)	28.00
M.E. (kg/cm ²)	210555.94
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0.6%FV 13
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.20
Area (cm ²)	181.46
Carga máxima (KN)	347.00
Resistencia (MPa)	19.12
M.E. (kg/cm ²)	185082.08
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	180-0.6%FV 13
Altura (cm)	30.40
Diámetro (cm)	15.11
Area (cm ²)	179.32
Carga máxima (KN)	424.00
Resistencia (MPa)	23.65
M.E. (kg/cm ²)	167222.82
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210 SF 9
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.14
Area (cm ²)	180.03
Carga máxima (KN)	383.00
Resistencia (MPa)	21.27
M.E. (kg/cm ²)	178760.26
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210 SF 9
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.09
Area (cm ²)	178.84
Carga máxima (KN)	392.00
Resistencia (MPa)	21.92
M.E. (kg/cm ²)	180958.34
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210 SF 9
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.03
Area (cm ²)	177.42
Carga máxima (KN)	365.00
Resistencia (MPa)	20.57
M.E. (kg/cm ²)	183278.19
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210-0,3%FV 11
Altura (cm)	30.80
Diámetro (cm)	15.13
Area (cm ²)	179.79
Carga máxima (KN)	365.00
Resistencia (MPa)	20.30
M.E. (kg/cm ²)	225854.16
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210- 0.3%FV 4
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.16
Area (cm ²)	180.50
Carga máxima (KN)	460.00
Resistencia (MPa)	25.48
M.E. (kg/cm ²)	184082.29
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210- 0.3%FV 6
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.15
Area (cm ²)	180.27
Carga máxima (KN)	486.00
Resistencia (MPa)	26.96
M.E. (kg/cm ²)	186305.76
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210-0.05%FV 9
Altura (cm)	30.55
Diámetro (cm)	15.24
Area (cm ²)	182.41
Carga máxima (KN)	446.00
Resistencia (MPa)	24.45
M.E. (kg/cm ²)	184111.79
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210-0.05%FV 11
Altura (cm)	30.52
Diámetro (cm)	15.18
Area (cm ²)	180.86
Carga máxima (KN)	434.00
Resistencia (MPa)	24.00
M.E. (kg/cm ²)	191971.87
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO: Comparación entre el refrentado con mortero de azufre y el refrentado no adherido con discos de neopreno y su influencia en la medida de la resistencia a la compresión del concreto

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210- 0,05%FV 2
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.17
Area (cm ²)	180.62
Carga máxima (KN)	451.00
Resistencia (MPa)	24.97
M.E. (kg/cm ²)	185937.38
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO: Comparación entre el refrentado con mortero de azufre y el refrentado no adherido con discos de neopreno y su influencia en la medida de la resistencia a la compresión del concreto

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210-0,6%FV 1
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.22
Carga máxima (KN)	486.00
Resistencia (MPa)	26.82
M.E. (kg/cm ²)	188288.74
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210- 0,6%FV 2
Altura (cm)	30.40
Diámetro (cm)	15.08
Area (cm ²)	178.49
Carga máxima (KN)	400.00
Resistencia (MPa)	22.41
M.E. (kg/cm ²)	211716.93
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	210- 0,6%FV 3
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.13
Area (cm ²)	179.67
Carga máxima (KN)	360.00
Resistencia (MPa)	20.04
M.E. (kg/cm ²)	225887.54
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280 SF 13
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.22
Carga máxima (KN)	637.00
Resistencia (MPa)	35.15
M.E. (kg/cm ²)	205454.30
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-SF 2
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.10
Carga máxima (KN)	606.00
Resistencia (MPa)	33.46
M.E. (kg/cm ²)	204722.30
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO: Comparación entre el refrentado con mortero de azufre y el refrentado no adherido con discos de neopreno y su influencia en la medida de la resistencia a la compresión del concreto

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-SF 3
Altura (cm)	30.80
Diámetro (cm)	15.16
Area (cm ²)	180.39
Carga máxima (KN)	654.00
Resistencia (MPa)	36.26
M.E. (kg/cm ²)	207326.83
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280 0,3%FV 9
Altura (cm)	30.90
Diámetro (cm)	15.35
Area (cm ²)	185.06
Carga máxima (KN)	655.00
Resistencia (MPa)	35.39
M.E. (kg/cm ²)	191768.91
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,3%FV 2
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.14
Area (cm ²)	179.91
Carga máxima (KN)	643.00
Resistencia (MPa)	35.74
M.E. (kg/cm ²)	178564.03
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,3%FV 1
Altura (cm)	30.40
Diámetro (cm)	15.14
Area (cm ²)	180.03
Carga máxima (KN)	625.00
Resistencia (MPa)	34.72
M.E. (kg/cm ²)	197101.77
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,05%FV 13
Altura (cm)	30.60
Diámetro (cm)	15.16
Area (cm ²)	180.39
Carga máxima (KN)	595.00
Resistencia (MPa)	32.98
M.E. (kg/cm ²)	191365.70
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,05% FV 4
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.18
Area (cm ²)	180.86
Carga máxima (KN)	595.00
Resistencia (MPa)	32.90
M.E. (kg/cm ²)	190861.61
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,05%FV 12
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.18
Area (cm ²)	180.86
Carga máxima (KN)	592.00
Resistencia (MPa)	32.73
M.E. (kg/cm ²)	209458.06
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280 0,6%FV 3
Altura (cm)	30.70
Diámetro (cm)	15.19
Area (cm ²)	181.22
Carga máxima (KN)	458.00
Resistencia (MPa)	25.27
M.E. (kg/cm ²)	161161.77
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,6%FV 13
Altura (cm)	30.50
Diámetro (cm)	15.15
Area (cm ²)	180.27
Carga máxima (KN)	485.00
Resistencia (MPa)	26.90
M.E. (kg/cm ²)	189508.04
Tipo de falla	Corte

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

PROYECTO:

NORMA : ASTM C469

Cilindro	280-0,6%FV 1
Altura (cm)	30.50
Diámetro (cm)	15.20
Area (cm ²)	181.34
Carga máxima (KN)	406.00
Resistencia (MPa)	22.39
M.E. (kg/cm ²)	170592.10
Tipo de falla	Corte