

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO
CON INCLUSIÓN DE FIBRA DE ACERO SIKA FIBER CHO
80/60 NB”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
DANIEL ENRRIQUE HILARIO VALDIVIA**

**ASESOR
Ing. RAFAEL CACHAY HUAMÁN**

Lima- Perú

2019

© 2019, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Hilario Valdivia, Daniel

daniel.hilario@outlook.com

933355448

Dedicatoria

Ante todo, dedico esta tesis a Dios por la oportunidad de seguir adelante con mi familia y desarrollarme de manera profesional.

A mi madre, quien a pesar de las adversidades de la vida fue perseverante y con mucha convicción logró darme la mejor herencia.

A mi esposa, por estar siempre a mi lado, cómplice de mis aventuras de la vida.

A mis hijos, cual motor e inspiración puedo hallar en sus miradas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
PRÓLOGO	7
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Generalidades.....	10
1.2 Problemática	11
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	12
2.1 Fibra de Acero	12
2.1.1 Antecedentes	12
2.1.2 Primeras experiencias	12
2.2 Concreto Reforzado con Fibras de Acero	13
2.2.1 Definición	13
2.2.2 Tipos de Fibras	13
2.2.3 Fibras de acero.....	14
2.3 Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado	16
con Fibras de Acero.....	16
2.4 Aplicaciones del Concreto con Inclusión de Fibras de Acero	17
2.5 Ventajas y Desventajas del Concreto con Inclusión de	18
Fibras de Acero	18
2.5.1 Ventajas.....	18
2.5.2 Desventajas.....	18
CAPÍTULO III: ESTUDIO DE LOS MATERIALES	19
3.1 Cemento	19
3.1.1 Cemento (Sol Tipo I).....	19
3.1.2 Química básica del cemento	19
3.1.3 Hidratación del cemento.....	19
3.1.4 Estructura del cemento hidratado.....	20
3.1.5 Finura del cemento	20
3.2 Agregado Fino	20

3.2.1	Características Generales	20
3.2.2	Análisis Granulométrico (NTP 400.037 – ASTM C33)	21
3.2.3	Módulo de Finura (NTP 400.011)	21
3.2.4	Peso Específico (NTP 400.022 – ASTM C128).....	23
3.2.5	Porcentaje de absorción (ASTM C128-01)	23
3.2.6	Contenido de Humedad (ASTM C566-97)	24
3.2.7	Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C 29)	24
3.2.8	Material que pasa la malla N°200 (75 µm) –(NTP 400.018)	25
3.3	Agregado Grueso	26
3.3.1	Características Generales	26
3.3.2	Análisis Granulométrico (NTP 400.037 – ASTM C33)	26
3.3.3	Módulo de Finura (NTP 400.011)	27
3.3.4	Peso Específico (NTP 400.022 – ASTM C128).....	29
3.3.5	Porcentaje de Absorción (ASTM C127-01).....	29
3.3.6	Contenido de Humedad (ASTM C566-97)	29
3.3.7	Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C29)	29
3.4	Agregado Global.....	31
3.4.1	Generalidades.....	31
3.4.2	Peso Unitario Compactado.....	31
3.5	Fibra de acero.....	35
3.5.1	Características Generales	35
3.5.2	Características geométricas de las Fibras de Acero	35
3.5.3	Aplicaciones de la fibra metálica.....	35
3.6	Agua	36
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS		37
4.1	Generalidades.....	37
4.2	Diseño de Mezclas.....	37
4.2.1	Datos para el diseño	37
4.2.2	Procedimiento para el diseño de mezcla.....	38
4.2.3	Determinación de la relación de agregados de acuerdo al ensayo de máxima compactación	38
4.3	Diseño de Mezcla Preliminar.....	43
4.3.1	Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.40.....	44
4.3.2	Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.45.....	45

4.3.3	Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.50.....	46
4.4	Diseño de Mezcla Patrón.....	47
4.4.1	Diseño Patrón con relación a/c=0.40.....	47
4.4.2	Diseño Patrón con relación a/c=0.45.....	48
4.4.3	Diseño Patrón con relación a/c=0.50.....	49
4.5	Diseño de Mezcla Patrón con Fibra de acero.....	50
4.5.1	Diseño de mezcla patrón con fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB.....	51
4.5.2	Cuadro resumen de los diseños de mezcla patrón con fibras metálicas.....	52
CAPÍTULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....		53
5.1	Ensayos del concreto en estado fresco.....	53
5.1.1	Peso Unitario (NTP 339.046 – ASTM C138).....	53
5.1.2	Asentamiento (NTP 339.035 – ASTM C413).....	53
5.1.3	Tiempo de fragua (NTP 339.082 – ASTM C403).....	53
5.1.4	Exudación (NTP 339.077 – ASTM C232).....	53
5.1.5	Contenido de aire (NTP 339.083 – ASTM C173).....	54
CAPÍTULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO		62
6.1	Ensayos al concreto en estado endurecido	62
6.1.1	Resistencia a la compresión (NTP 339.034 – ASTM C39).....	62
6.1.2	Resistencia a la tracción (NTP 339.084 – ASTM C496).....	62
6.1.3	Módulo elástico estático (ASTM C469-02).....	63
6.1.4	Resistencia a la flexión (NTP 339.078).....	63
6.1.5	Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido.....	65
CAPÍTULO VII: CUADROS COMPARATIVOS		75
7.1	Generalidades.....	75
7.2	Cuadros y gráficos comparativos	75
7.2.1	Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado fresco.....	75
7.2.2	Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado endurecido.....	82
CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS		91
8.1	Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado fresco.....	91

8.2	Análisis de los resultados de los ensayos del concreto	
	en estado endurecido	95
	CONCLUSIONES.....	102
	RECOMENDACIONES.....	104
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS	106

RESUMEN

En esta tesis se presentan los resultados del comportamiento del concreto que incluye en la mezcla fibra de acero SIKA FIBER CHO 80/60 NB con relación al "concreto patrón". Se denomina "concreto patrón" a aquel concreto que no presenta fibra de acero. Se han efectuado análisis en diferentes dosificaciones de fibra de acero tales como 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 . Se han realizados las pruebas para 3 diferentes relaciones de agua/cemento: 0.40, 0.45 y 0.50. El concreto tuvo un asentamiento entre 3"-4" y se empleó cemento Portland Tipo I.

Para conocer las propiedades de los materiales empleados como el caso de los agregados grueso y fino, éstos fueron ensayados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI. Sin embargo, las propiedades del cemento y de la fibra de acero fueron considerados según las indicaciones de los fabricantes. El agua que se usó fue el agua potable del Laboratorio de Ensayo de Materiales.

Se realizaron ensayos del concreto en sus estados fresco y endurecido. Los resultados obtenidos en los ensayos de los concreto en estado endurecido evidencian la influencia positiva que ejerce la fibra de acero al concreto patrón en sus propiedades mecánicas. Para los casos de concretos con relación agua cemento 0.40 y 0.5 se ha logrado un incremento del orden del 9% en la resistencia a la compresión a los 28 días en comparación con el concreto patrón.

ABSTRACT

This thesis presents the results of the behavior of concrete that includes SIKA FIBER CHO 80/60 NB steel fiber in relation to the "standard concrete". Its is called "standard concrete" to that concrete that does not have steel fiber. Analyzes has been carried out on different of dosages of Steel fiber such as 15 kg/m³, 30 kg/m³ and 45 kg/m³. Tests have been performed for 3 different water/cement ratios: 0.40, 0.45 and 0.50. The concrete had a slump between 3"-4" and Portland Type I cement was used.

To know the properties of the materials, coarse and fine aggregates, these were tested in the Materials Testing Laboratory at UNI. However, the properties of cement and steel fiber were considered according to the manufacturers indications. The water that was used was drinking water of the Materials Testing Laboratory.

Concrete tests were performed in their fresh and hardened states. The test results obtained in hardened concrete show the positive influence that steel fiber exerts on the concrete in its mechanical properties. For concrete cases with a 0.40 and 0.5 of wáter/cement ratios, an increase of the order of 9% in compressive strength after 28 days has been archieved as compared to the "standard concrete".

PRÓLOGO

El concreto es el material que más se usa en la construcción, y representa alrededor del 41% del costo total del resto de materiales, pese a sus grandes ventajas también presenta grandes problemas y uno de ellos es la aparición de fisuras, y si comparamos la resistencia a la compresión con la resistencia a la tracción notaremos que hay gran diferencia en sus resultados, la resistencia a la tracción es apenas el 8.80% de la resistencia a la compresión según esta investigación.

Por este motivo el uso de fibras metálicas se ha incrementado en nuestro país, tal es así que ya contamos en el mercado nacional con diferentes marcas que producen estas fibras metálicas, incluso en proyectos de gran envergadura como "Proyecto Tambomayo 1500 TMPD", para la ejecución de losas de diferentes espesores, se reemplaza el acero corrugado convencional en su totalidad por las fibras metálicas con dosificación que se obtiene de un diseño estructural de acuerdo con el uso de estas losas.

Por esta razón el estudio de las bondades que las fibras metálicas nos dan junto al concreto es motivo a la presente investigación, más aún cuando este uso se está masificando y que hoy el autor nos brinda con la presente tesis.

Debido a su gran importancia, la presente tesis va dirigida a los ingenieros, constructores y público en general que deseen actualizar sus conocimientos respecto al concreto con fibras metálicas.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1.1 Propiedades de Las Fibras.....	14
Cuadro 3.1.1 Componentes del Cemento.....	19
Cuadro 3.2.1 Granulometría del Agregado Fino (Promedio).....	21
Cuadro 3.2.2 Porcentaje que pasa la malla N° 200.....	25
Cuadro 3.3.1 Granulometría del Agregado Grueso (Promedio).....	26
Cuadro 3.3.2 Cuadro Resumen de las Propiedades de los Agregados.....	30
Cuadro 3.4.1 HUSOS DIN 1045.....	31
Cuadro 3.4.2 Combinación De Agregados Mediante el Peso Unitario Compactado del Agregado Global.....	32
Cuadro 3.4.3 Granulometría del Agregado Global.....	33
Cuadro 3.6.1 Requisitos de Calidad NTP 339.088.....	36
Cuadro 4.3.1 Combinación de Agregados Mediante el Peso Unitario Compactado Del Agregado Global.....	39
Cuadro 4.3.2 Ensayo a Compresión a los 7 Días de Curado.....	40
Cuadro 4.4.1 Propiedades de los Agregados Empleados en el Diseño De Mezcla de Concreto.....	42
Cuadro 6.1.1 Ensayo de Resistencia a la Compresión (Cuadro Resumen).....	65
Cuadro 6.1.2 Ensayo de Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral (Cuadro Resumen).....	66
Cuadro 6.1.3 Ensayo de Módulo Elástico Estático (Cuadro Resumen).....	67
Cuadro 6.1.4 Ensayo de Flexión de Vigas (Cuadro Resumen).....	68
Cuadro 7.1.2 Análisis Comparativo Respecto al Concreto Patrón Ensayo de Peso Unitario.....	77
Cuadro 7.1.3 Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de exudación y tiempo de fragua.....	78
Cuadro 7.2.1 Análisis Comparativo Respecto al Concreto Patrón Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	82
Cuadro 7.2.2 Análisis Comparativo Respecto a la Resistencia a la Compresión a los 28 días Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	83
Cuadro 7.2.3 Análisis Comparativo Respecto al Concreto Patrón Ensayo de Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.....	84
cuadro 7.2.4 Análisis Comparativo Respecto al Concreto Patrón Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	85
Cuadro 7.2.5 Análisis Comparativo Respecto al Concreto Patrón Ensayo de Módulo de Elasticidad.....	86

LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 2.1.1: Tipos de fibras de acero.....	15
Figura 2.2.1: Relación carga desplazamiento para rotura de fibras (tracción)....	17
Figura 2.2.2: Relación carga desplazamiento para deslizamiento de fibras.....	17
Gráfico 3.2.1: Análisis granulométrico agregado fino (resultante).....	22
Gráfico 3.3.1 Análisis granulométrico agregado grueso (resultante).....	27
Gráfico 3.4.2: Análisis granulométrico del agregado global.....	34
Gráfico 4.3.1 Máxima densidad del agregado global.....	39
Gráfico 4.3.2: Resistencia a la compresión a los 7 días versus relación de la arena-piedra.....	40
Gráfico 4.3.3: Superposición de gráficas para obtener la mejor combinación de agregados y a la vez con una buena resistencia.....	41
Gráfico 5.1.1: Ensayo de peso unitario vs relación a/c.....	55
Gráfico 5.1.2: Ensayo de asentamiento vs relación a/c.....	56
Gráfico 5.1.3: Ensayo de exudación vs relación a/c.....	57
Gráfico 5.1.4: Ensayo de tiempo de fragua inicial vs relación a/c.....	58
Gráfico 5.1.5: Ensayo de tiempo de fragua final vs relación a/c.....	59
Gráfico 5.1.6: Ensayo de contenido de aire vs relación a/c.....	60
Figura 6.1.1 Ensayo de resistencia a la flexión.....	64
Gráfico 6.1.1: Resistencia a la compresión a/c=0.40.....	69
Gráfico 6.1.2: Resistencia a la compresión a/c=0.45.....	70
Gráfico 6.1.3: Resistencia a la compresión a/c=0.50.....	71
Gráfico 6.1.4: Resistencia a la tracción por compresión diametral vs relación a/c.....	72
Gráfico 6.1.5: Módulo elástico estático vs relación a/c.....	73
Gráfico 6.1.6: Resistencia a la flexión en vigas vs relación a/c.....	74
Gráfico 7.1.1: Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs cantidad de fibra metálica a/c= 0.40.....	79
Gráfico 7.1.2: Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patron vs cantidad de fibra metálica a/c=0.45.....	80
Gráfico 7.1.3: Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patron vs cantidad de fibra metálica a/c=0.50.....	81
Gráfico 7.2.1: Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de resistencia a la compresión.....	87
Gráfico 7.2.2: Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.....	88
Gráfico 7.2.3: Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de resistencia a la flexión.....	89
Gráfico 7.2.4: Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de módulo de elasticidad.....	90

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El concreto ha experimentado una profunda evolución como material de construcción durante el siglo XX a todos los niveles: de diseño, de cálculo, tecnológico y propiamente como material; buscando siempre mejoras en sus propiedades y comportamiento.

Un ejemplo de ello es la aparición del concreto armado (o reforzado) en la segunda mitad del siglo XIX. Su descubrimiento fue atribuido a Lamblot por la presentación en la exposición Universal de París de 1855 un barco de carcasa metálica recubierto por concreto de cal hidráulica. Sin embargo, fue Monet, un jardinero de Versalles, quien en 1868 patentó el sistema para la realización de macetas y macetones, depósitos y losas. Desde entonces, numerosas han sido las investigaciones y estudios llevados a cabo con el objetivo de mejorar el comportamiento del concreto.

Durante el siglo XX se han desarrollado tecnologías como la del concreto pretensado y el concreto proyectado, y han aparecido concretos llamados “especiales”: concretos de alta resistencia, concretos ligeros, concretos pesados, concretos porosos, concretos autocompactables, concretos reciclados y, también, el concreto reforzado con fibras.

En la presente tesis se pretende analizar el comportamiento del concreto patrón cuando incluyamos en la mezcla de concreto la fibra de acero SIKA FIBER CHO 80/60 NB, en diferentes dosificaciones tales como 15 kg/m³; 30 kg/m³ y 45 kg/m³. Para los 03 diferentes relaciones de agua y cemento 0.40, 0.45 y 0.50.

El concreto deberá tener un asentamiento de 3"-4" usando el cemento Portland Tipo I.

Además, en la presente tesis se incluye los ensayos realizados para los 03 diseños de mezcla, cada ensayo con la diferente dosificación de fibra de acero, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

1.2 Problemática

El concreto es el material más usado en las obras de ingeniería, es un compendio de virtudes, pero con grandes deficiencias, es pesado, la relación entre su resistencia a la compresión con la tracción es muy baja; su relación peso- resistencia es demasiado alto, siendo su inestabilidad fuente de importantes problemas patológicos. Su capacidad de absorber energía antes de la rotura es baja, su durabilidad es muy sensible a su proyecto y ejecución.

Sin embargo, a pesar de todos estos puntos negativos, el concreto tiene muchas ventajas y argumentos a su favor que se puede considerar, sin duda, el rey de los materiales de construcción.

Las fibras de acero son las que más se emplean para reforzar al concreto; el acero posee un módulo de elasticidad diez veces superior al del concreto, así mismo, las fibras de acero se adhieren muy bien a la pasta del concreto, y por otra parte son fáciles de mezclar.

Es por tal motivo que estudiaremos el comparativo de un concreto normal (concreto patrón) al cual se le aplicarán las diferentes dosificaciones de la fibra de acero SIKA FIBER CHO 80/60 NB tales como 15kg/m^3 , 30kg/m^3 y 45kg/m^3 y se utilizarán las relaciones de $a/c=0.40$; 0.45 ; 0.50 .

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la influencia que produce la adición de la fibra de acero en el concreto en los estados fresco y endurecido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar cómo varían las propiedades mecánicas del concreto con la incorporación de diferentes dosificaciones de la fibra de acero.
- Obtener el mejor módulo de rotura del concreto, es decir mayor resistencia a la flexión utilizando fibras metálicas.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Fibra de Acero

2.1.1 Antecedentes

Las fibras no son un material nuevo o reciente. Se sabe que hace 4000 años ya se empleaban fibras como adición a un material para mejorar sus propiedades. Hay numerosos ejemplos a lo largo de la historia del uso de las fibras: en la baja Mesopotamia los adobes de barro cocidos al sol se armaban con paja y hasta hace unos años se utilizaban los pelos de cabra o caballo para armar el yeso. Este tipo de fibras naturales se utilizaron hasta el año 1935 aproximadamente. La razón de su caída en desuso fue la invención de las fibras sintéticas.

La aparición de este nuevo tipo de fibras es debida a Chardonnet quien a finales del siglo XIX inventó la seda artificial. Sin embargo, fue a partir de 1935 con la producción de la primera fibra de nylon cuando surge una nueva etapa en el uso de fibras. Durante esos años hay un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que tratan de copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal es la fabricación de tejidos.

Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. No obstante, las fibras metálicas sí han tenido una mayor presencia a lo largo de los años como adición a materiales de construcción.

2.1.2 Primeras experiencias

Las primeras experiencias de adición de fibras a materiales destinados a la construcción corresponden a fibras metálicas.

La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos se realizó en California en 1874 por A. Berard. Consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. A partir de ese momento han aparecido numerosas patentes. Cabe destacar la patente de G. Martin en 1927, en California también, que describe la adición de alambres de acero rizados en el concreto empleado en tuberías.

Con el paso de los años, la forma de las fibras se va perfeccionando y en las patentes se emplean parámetros muy similares a los actuales para fibras de acero. Ejemplo de ello es la patente de G. Constantinesco (1954, Estados Unidos) que se refería al uso de fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia a la fisuración y la absorción de energía en el concreto.

A partir de los años 50 se realizan numerosos trabajos de investigación sobre concretos reforzados con fibras de acero (las fibras metálicas son fundamentalmente de acero en sus variantes de bajo o medio contenido en carbono, acero inoxidable y de acero galvanizado). Entre los estudios realizados cabe destacar los de Romualdi, Batson y Mandel en 1963.

2.2 Concreto Reforzado con Fibras de Acero

2.2.1 Definición

El concreto reforzado con fibras es un concreto que incluye en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa.

Esta incorporación se realiza para mejorar ciertas propiedades específicas del concreto, ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido. Las fibras se pueden añadir a concretos en masa, armados o pretensados, es decir, que las fibras pueden estar presentes tanto con armaduras pasivas como activas.

2.2.2 Tipos de Fibras

Las fibras utilizadas en el Concreto Reforzado con Fibras son de corta longitud y pequeña sección. Se pueden clasificar según su naturaleza en los siguientes tipos:

- Fibras de acero (en sus variantes en contenido de carbono e inoxidables)
- Fibras poliméricas
- Fibras inorgánicas

A continuación, se muestra en el Cuadro 2.1.1 algunas características de las fibras utilizadas con morteros y concretos.

CUADRO 2.1.1
PROPIEDADES DE LAS FIBRAS

Tipo de fibra	Resistencia a tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Densidad (kg/m ³)	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500-3000	210	7800	3.50
Acero inoxidable	2100	160	7860	3.00
Vidrio	2000	60	2700	3.60
Carbono	3000	200-500	1900	0.50
Nilon	900	4	1100	13-15
Polipropileno	400-800	5-25	900	8-20
Poliéster	700-900	8.2	1400	11-13
Concreto	5-8	30	2300	0.00

En el cuadro 2.1.1 podemos observar las diferentes propiedades de cada tipo de fibra y las del concreto, especialmente significativas la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad. Para que las fibras sean efectivas se recomienda que tengan un módulo de elasticidad al menos 03 veces superior al del concreto. En este sentido, es destacable el módulo de elasticidad de las fibras de acero que es 7 veces mayor que el del concreto.

Las fibras de acero en todas sus variantes son las más utilizadas para conseguir concretos con mejor resistencia a flexión, tracción, impacto, fatiga, etc. La presente tesis se centra en estudiar las características de un concreto patrón con el concreto con inclusión de fibras de acero, por esta razón se realiza un apartado específico de fibras de acero.

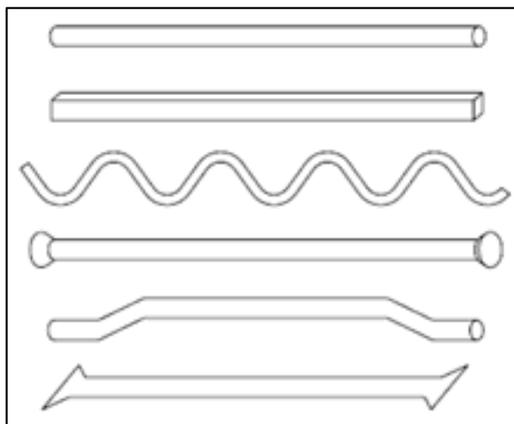
2.2.3 Fibras de acero

Las fibras de acero utilizadas en el refuerzo del concreto son discontinuas, con una distribución discreta y uniforme que confiere al material isotropía y homogeneidad.

La geometría de las fibras es diversa, pudiendo tener sección circular, cuadrada o rectangular (ver figura 2.1).

Además, con el fin de mejorar la adherencia con el concreto, las fibras pueden presentar los extremos conformados, ondulaciones, corrugas, aplastamientos, ganchos, etc. En general, las dimensiones de las fibras oscilan entre 0,25 y 0,80 mm de diámetro y entre 10 y 75 mm de longitud.

FIGURA 2.1.1: TIPOS DE FIBRAS DE ACERO



El método de obtención no es único, aunque el más habitual es el del corte de alambres trefilados de acero de bajo contenido de carbono. Otros métodos son el corte de láminas de acero y el arrancamiento en caliente, consiguiendo fibras de sección cuadrada y fibras con forma de viruta respectivamente.

En la caracterización de las fibras de acero se emplean tres parámetros básicos:

- Esbeltez o aspecto: este parámetro se define como la relación entre la longitud de la fibra y su diámetro (l_f / d_f). A mayor esbeltez, menor será la dosificación de fibras a utilizar.
- Resistencia a tracción del acero: la resistencia a tracción de las fibras depende de la calidad del acero. Para un contenido bajo o medio de carbono, la resistencia a tracción oscila entre 400 y 1500 MPa. Incrementando el contenido de carbono se pueden alcanzar resistencias

de 2000 MPa, siendo este tipo de fibras especialmente adecuadas para concretos de alta resistencia.

- Forma: Se obtienen mejores resultados con fibras trefiladas de sección circular y con extremos conformados.

En función de la aplicación que se le va a dar a las fibras, éstas pueden ser galvanizadas, con una mejor resistencia a la corrosión en obras marítimas, o de acero inoxidable, impidiendo la corrosión en atmósferas calientes y con gases agresivos como es el caso de los concretos en el revestimiento de hornos, en industria petroquímica, etc.

Una de las principales ventajas que aportan las fibras de acero es la mejora significativa de la ductilidad del concreto. A continuación, se resumen los efectos

positivos que la presencia de fibras de acero induce en el comportamiento del concreto:

- Mejora de la resistencia a flexotracción
- Aumento significativo de la resistencia a tracción
- Reducción de la deformación bajo cargas permanentes
- Aumento de la tenacidad
- Incremento significativa de la resistencia al impacto y choque
- Gran resistencia a la fatiga dinámica
- Control de la fisuración
- Aumento de la durabilidad del concreto

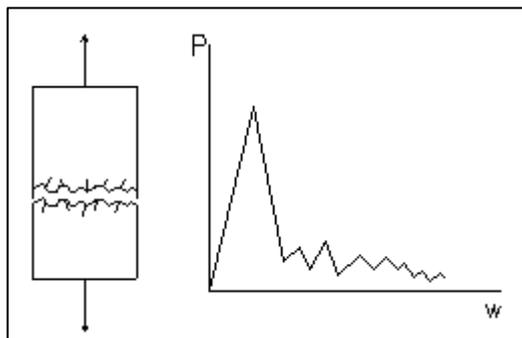
Es preciso señalar que las fibras de acero son las más eficaces y económicas. Los motivos principales son que el módulo de elasticidad del acero es siete veces mayor que el del concreto, tiene un alto alargamiento de rotura (ver tabla 2.1.1) y se caracteriza por una buena adherencia con el concreto. Además, las fibras de acero se mezclan fácilmente con el resto de componentes del concreto.

2.3 Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Acero

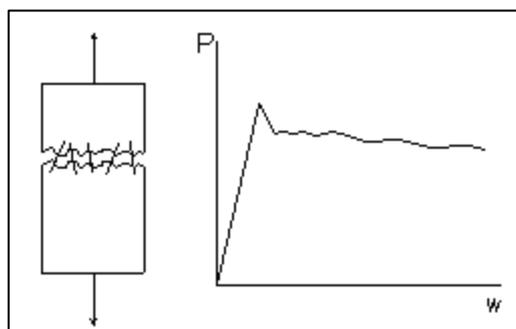
El concreto reforzado con fibras de acero puede ser considerado una variante del principio de inclusión con barras de acero. En este caso, la inclusión se realiza con un gran número de pequeñas fibras, distribuidas de forma aleatoria en la mezcla. Las fibras de acero son las que tienen la función de soportar las tracciones tras la fisuración del concreto. Sin embargo, es necesario precisar que la manera de trabajar de las fibras es diferente a la del armado convencional. En el caso del armado convencional, las barras están ancladas de forma que se alcanza el límite elástico del acero y su capacidad última se desarrolla cuando tiene lugar la rotura del acero. A diferencia de las barras, las fibras de acero se diseñan para que no alcancen el límite elástico del acero, antes de alcanzarlo deben deslizar para desarrollar su máxima eficiencia. La razón es que todas las fibras que cosen una fisura tienen diferente longitud de anclaje y orientación. Esto significa que las deformaciones en las diversas fibras durante la apertura de la fisura son muy distintas, existiendo la posibilidad de que algunas de ellas rompan mientras que otras aún están sometidas a tracciones bajas (ver figura 2.2.1). No obstante, si las fibras deslizan en lugar de romperse, su resistencia total a tracción será muy importante, consiguiendo además una gran ductilidad (ver figura 2.2.2). De esto

se deduce que la longitud de anclaje debe ser suficientemente grande para garantizar la adherencia y suficientemente pequeña para permitir el deslizamiento de las fibras.

**FIGURA 2.2.1: RELACIÓN CARGA DESPLAZAMIENTO
PARA ROTURA DE FIBRAS (TRACCIÓN)**



**FIGURA 2.2.2: RELACIÓN CARGA DESPLAZAMIENTO
PARA DESLIZAMIENTO DE FIBRAS (TRACCIÓN)**



2.4 Aplicaciones del Concreto con Inclusión de Fibras de Acero

La aplicación de la Fibra Metálica es:

- Pavimentos para trabajo pesado
- Pisos industriales
- Losas de alta planicidad
- Losas en aeropuertos
- Revestimiento de túneles

2.5 Ventajas y Desventajas del Concreto con Inclusión de Fibras de Acero

2.5.1 Ventajas

- Todo el volumen del pavimento de concreto queda reforzado por la distribución homogénea tridimensional de las fibras de acero.
- Mejoran de forma muy elevada la Resistencia a Flexotracción, imprescindible para soportar las cargas sobre el pavimento.
- Aumentan la durabilidad del concreto, debido a que las fibras de acero controlan la fisuración y evitan la propagación de grietas.
- Mejoran muy notablemente la ductilidad del concreto, evitando su fragilidad.
- Mejora la resistencia a impactos y a esfuerzos repetitivos.
- Previenen la oxidación. El mallazo puede oxidarse si alguna de sus partes queda expuesta al aire, esto provoca que el contacto del refuerzo sea Óxido – Concreto, reduciendo la adherencia y, por lo tanto, disminuyendo el refuerzo.
- La aplicación de fibras de acero es más rápida, sencilla y segura que el mallazo, evitando la necesidad de personal calificado y aumentando la seguridad de los trabajadores.
- Reducción del costo total del proyecto.

Esto es debido a que el concreto es un material frágil, de manera que, una vez superado su límite de carga, se fractura. Su resistencia a flexotracción es débil, y dado que las cargas que debe soportar un pavimento afectan a este tipo de resistencia, es necesario recurrir al armado del concreto con fibras de acero para mejorar esta resistencia y cambiar su comportamiento.

2.5.2 Desventajas

- Es muy probable la aparición de las fibras de acero en la superficie en el concreto, lo cual no puede considerarse como una falta de calidad del concreto sino más del acabado del concreto.
- Al aparecer la fibra de acero en la superficie del concreto, es normal que se produzca su oxidación, provocando con esto un aspecto antiestético.
- Cuando se añade la fibra de acero al concreto pre mezclado puede provocar una pérdida de la trabajabilidad, lo cual está en función del tipo y longitud de la fibra empleada, así como de la cantidad dispuesta.

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE LOS MATERIALES

3.1 Cemento

En la actualidad se fabrican en el Perú; el cemento Tipo I.

3.1.1 Cemento (Sol Tipo I)

El cemento es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes.

El cemento utilizado en esta investigación fue el cemento Portland Tipo I de la marca Sol.

3.1.2 Química básica del cemento

Las materias primas empleadas para la elaboración del cemento Portland son principalmente cal, sílice, aluminio y óxido de hierro. Esos componentes actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos y aparte de un pequeño residuo de cal no combinado, que no tuvo suficiente tiempo para reaccionar, se logra un estado de equilibrio químico.

En el cuadro 3.1.1 se presentan los cuatro componentes principales del cemento:

CUADRO 3.1.1
COMPONENTES DEL CEMENTO

Nombre del Componente	Composición óxida	Nomenclatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato bicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Aluminoferrato	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

3.1.3 Hidratación del cemento

El proceso de hidratación del cemento es un conjunto de reacciones química entre el agua y los componentes del cemento. En presencia de agua los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación o hidratos, que pasan del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes en los nuevos productos formados.

3.1.4 Estructura del cemento hidratado

Durante del proceso de hidratación, el volumen externo de la pasta se mantiene constante, sin embargo, internamente los volúmenes de los sólidos se incrementan constantemente con el tiempo, causando la reducción permanente de la porosidad, que en relación inversa con la pasta endurecida y en forma directa con la permeabilidad. Para que se produzca la hidratación completa es necesario una cantidad suficiente de agua capaz de generar la reacción química, también se necesita proveer la estructura de vacíos o espacios para los productos de hidratación, la temperatura adecuada y el tiempo necesario, desprendiéndose de aquí el concepto fundamental de curado, que consiste esencialmente en procurar unir estos cuatro elementos para que el proceso se complete.

3.1.5 Finura del cemento

Al aumentar la finura del cemento, este se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, una más alta finura representa mayor velocidad en la generación del calor y mayor demanda de agua para mezclar el concreto, esto generará cambios volumétricos de los concretos y posibles agrietamientos en las estructuras.

3.2 Agregado Fino

3.2.1 Características Generales

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. Podrá consistir en arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias; de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente; libre de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto.

3.2.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.037 – ASTM C33)

El análisis granulométrico se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de agregados.

En el cuadro 3.2.1 se muestran los resultados promedio del análisis granulométrico realizado a 3 muestras de arena gruesa.

CUADRO 3.2.1

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (promedio)

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	26.07	5.20	5.20	94.80	95.00	100.00
N° 8	116.50	23.25	28.45	71.55	80.00	100.00
N° 16	136.60	27.26	55.71	44.29	50.00	85.00
N° 30	104.97	20.95	76.66	23.34	25.00	60.00
N° 50	69.17	13.80	90.47	9.53	10.00	30.00
N° 100	34.10	6.81	97.27	2.73	2.00	10.00
FONDO	13.67	2.73	100.00	0.00	0.00	0.00

3.2.3 Módulo de Finura (NTP 400.011)

Se define el módulo de finura como la suma de los porcentajes acumulativos retenidos en las mallas de las series estandarizadas, dividido entre 100. Las series estandarizadas consisten en mallas, cada una del doble del tamaño de la precedente.

Los tamices utilizados para determinar el módulo de finura son las siguientes:

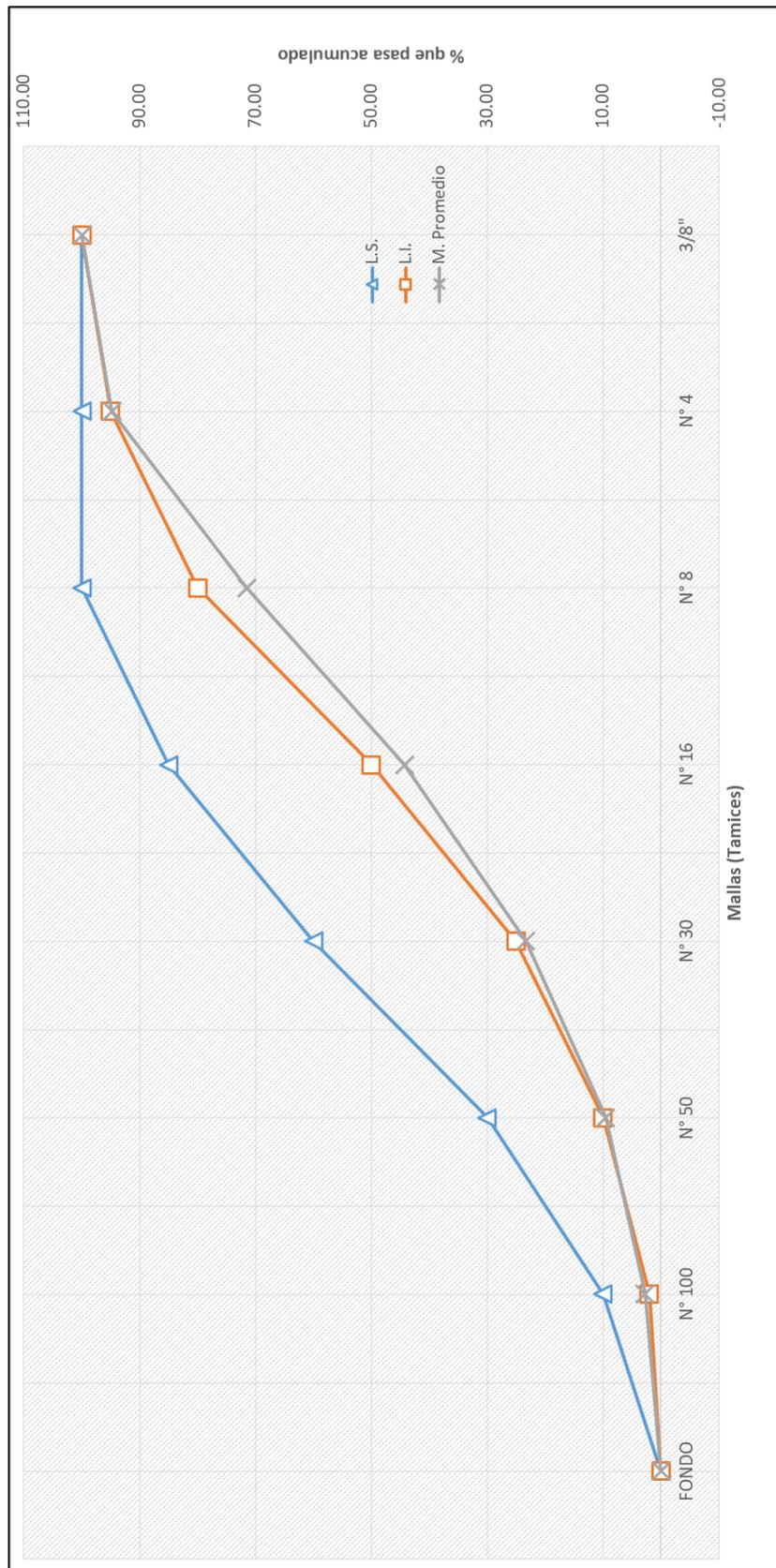
N° 100(150µm), N° 50(µm), N° 30(600µm), N° 16(1.18mm), N° 8(2.36mm), N° 4(4.75mm), 3/8" (9.50mm), 19.00mm, 37.50mm y aún mayores que se incrementan en la proporción de 2 a 1.

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Se realizaron tres ensayos granulométricos del agregado fino de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. \text{ promedio} = 3.538$$

GRÁFICO 3.2.1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO (Resultante)



3.2.4 Peso Específico (NTP 400.022 – ASTM C128)

El peso específico es la relación de la masa (o peso en el aire) de una unidad de volumen de material respecto a una masa de agua del mismo volumen a una temperatura determinada, expresada en tres formas.

- Peso específico de masa (G)

Se refiere al volumen de material sólido, incluidos todos los poros.

$$\text{Peso específico de masa (G)} = \frac{A}{V - W}$$

- Peso específico de masa saturado superficialmente seco (G_{ss})

Se refiere al volumen del material cuando todos los poros del agregado están llenos de agua.

$$\text{Peso específico de masa saturada superficialmente (G}_{ss}) = \frac{500}{V - W}$$

- Peso específico aparente (G_a)

Se refiere al volumen de material sólido, incluidos los poros impermeables, aunque no lo capilares.

$$\text{Peso específico aparente (G}_a) = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

Donde:

V: Volumen de la Fiola

W: Peso del agua

A: Peso de la arena seca

Entonces para nuestra arena el Peso específico de masa es: 2.40 gr/cm³

3.2.5 Porcentaje de absorción (ASTM C128-01)

El porcentaje de absorción es la relación de la disminución de masa respecto a la masa de la muestra seca, se determina midiendo la disminución de masa de una muestra saturada y de superficie seca después de secarla en un horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C +- 5°C.

$$\text{Porcentaje de absorción (a\%)} = 100x \frac{500 - A}{A}$$

Donde:

A: Peso de la arena seca

Entonces para nuestra arena el Porcentaje de absorción: 1.30 %

3.2.6 Contenido de Humedad (ASTM C566-97)

El contenido de humedad viene a ser el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, expresado en porcentaje (%)

$$\text{Contenido de humedad}(\%) = \frac{P_{\text{humeda}} - P_{\text{seca}}}{P_{\text{seca}}} \times 100$$

$$\text{Contenido de humedad promedio}(\%) = 1.40\%$$

3.2.7 Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C 29)

El peso unitario o densidad de masa de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente dividida entre el volumen del recipiente, expresado en kg/m^3 ; representará el peso unitario para uno u otro grado de compactación.

La norma NTP 400.017 reconoce dos grados de compactación los cuales son:

I. **Peso unitario suelto:**

Se llena de arena un recipiente metálico de $1/10 \text{ pie}^3$, al término del llenado se tiene que enrasar suavemente con la varilla metálica de $5/8''$ y se pesa.

Para nuestra arena el peso unitario suelto es:

$$\text{Peso unitario suelto promedio} = 1447.32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

II. **Peso unitario compactado:**

Se llena de arena un recipiente metálico de $1/10 \text{ pie}^3$, se va llenando en tres capas, cada capa con 25 golpes que se distribuirán en forma de espiral sobre el agregado, la varilla con las que se realizará los golpes es de acero liso de $5/8''$ de diámetro y de 60cm de longitud con ambos extremos redondeados. Es peso unitario compactado es:

$$\text{Peso unitario compactado promedio} = 1595.81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.2.8 Material que pasa la malla N°200 (75 µm) –(NTP 400.018)

Este ensayo representa la cantidad de material fino, que tiene un tamaño menor a la abertura del tamiz N° 200 equivalente a 75 µm.

Este porcentaje se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{(P1-P2)}{P1} \times 100$$

Donde:

A= Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75 µm (N° 200) por vía húmeda

P1= Peso seco de la muestra original (gr)

P2= peso seco de la muestra ensayada (gr)

Con este ensayo se determina el porcentaje de materiales muy finos como es el limo, arcilla, etc., que se encuentran recubriendo a la arena gruesa, y dicha presencia de materiales altera los requerimientos de agua en el diseño de mezcla. Para calcular el % que pasa la malla N° 200 tenemos el siguiente cuadro:

CUADRO 3.2.2
PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N° 200

Descripción	Símb.	Und	Muestra		
			N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente		gr	169.60	169.60	169.60
Peso del recipiente+ peso de la muestra		gr	711.94	703.88	708.16
Peso de la muestra original ensayada	P1	gr	542.34	534.28	538.56
Peso seco de la muestra ensayada	P2	gr	517.34	504.38	509.84
% que pasa la malla N° 200	A	%	4.61%	5.60%	5.33%

% Que pasa la malla N° 200_{promedio}= 5.18%

3.3 Agregado Grueso

3.3.1 Características Generales

Se define como agregado grueso aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas en una cantera.

3.3.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.037 – ASTM C33)

El análisis granulométrico se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de agregados.

En el cuadro 3.3.1 se muestran los resultados promedios del análisis granulométrico realizado a 03 muestras de agregado grueso.

CUADRO 3.3.1

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO (promedio)

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	754.40	15.09	15.09	84.91	90.00	100.00
3/4"	1756.63	35.13	50.22	49.78	40.00	90.00
1/2"	1672.90	33.46	83.68	16.32	15.00	45.00
3/8"	511.23	10.22	93.90	6.10	0.00	15.00
Nº 4	293.77	5.88	99.78	0.22	0.00	5.00
FONDO	11.07	0.22	100.00	0.00	0.00	0.00

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (NTP 400.037)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso se determina a partir de un análisis por tamices; y generalmente se acepta el que corresponde al tamiz inmediatamente superior a aquel en el cual queda 15% o más de material acumulado retenido.

Tamaño Máximo Nominal= 1 1/2"

3.3.3 Módulo de Finura (NTP 400.011)

Se define el módulo de fineza como la suma de los porcentajes acumulativos retenidos en las mallas de las series estandarizadas, dividido entre 100. Las series estandarizadas consisten en mallas, cada una del doble del tamaño de la precedente:

Los tamices utilizados para determinar el módulo de finura son las siguientes:

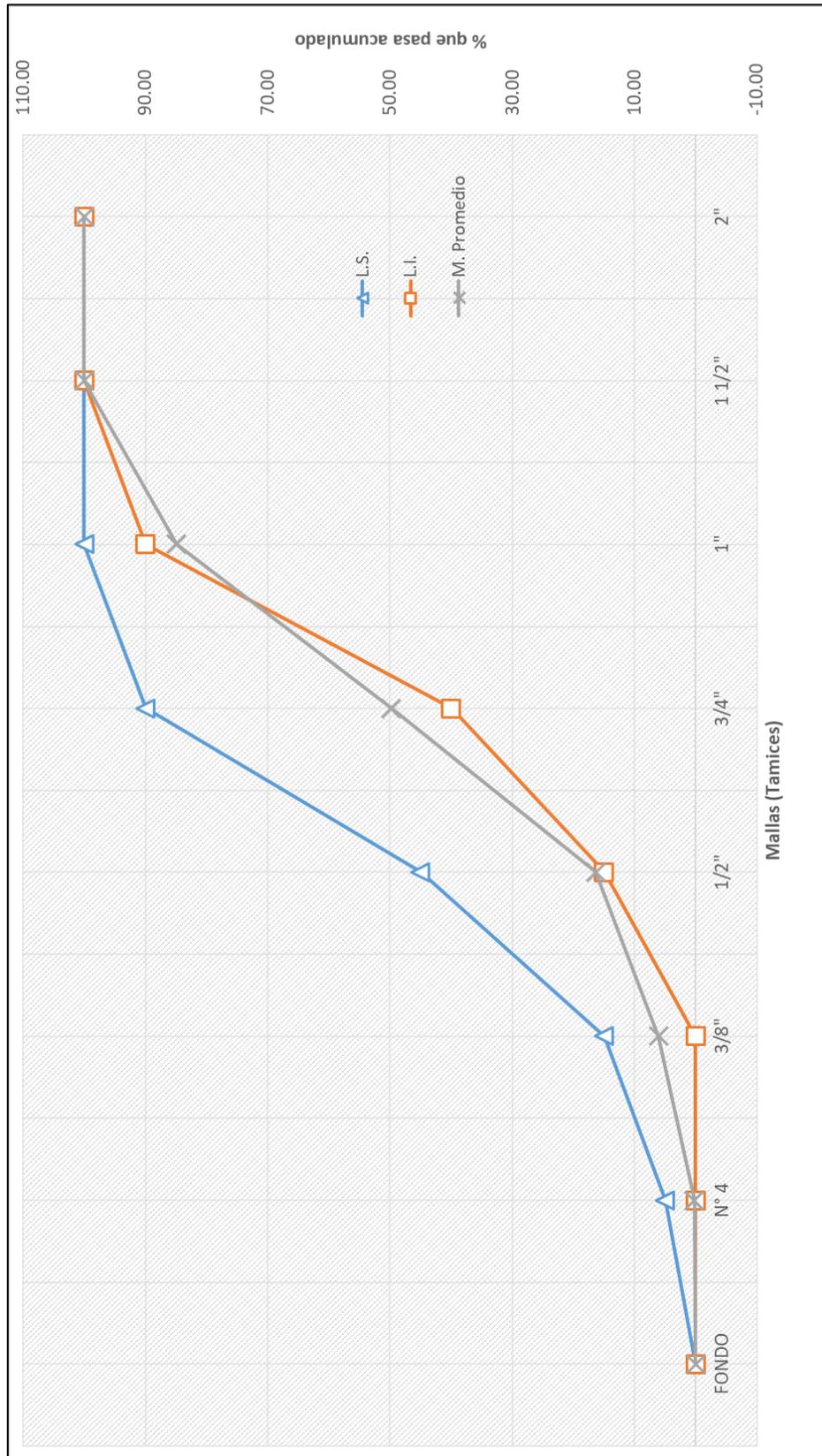
N° 100 (150 µm), N° 50 (300 µm), N° 30 (600 µm), N° 16 (1.18 µm), N° 8 (2.36m), N° 4 (4.75mm), 3/8" (9.50mm), 3/4" (19.00mm), 37.50mm y aún mayores que se incrementan en la proporción de 2 a 1.

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Se realizaron tres ensayos granulométricos del agregado grueso, el resultado promedio es:

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = 7.439$$

GRÁFICO 3.3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO (Resultante)



3.3.4 Peso Específico (NTP 400.022 – ASTM C128)

El peso específico del agregado grueso es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión).

El agregado grueso tiene un **Peso específico: 2.66 gr/cm³**.

3.3.5 Porcentaje de Absorción (ASTM C127-01)

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos internos en las partículas. Dicho fenómeno se produce por capilaridad, no lográndose a llenar absolutamente los poros indicados, ya que siempre queda al aire atrapado.

El agregado grueso tiene un **Porcentaje de absorción: 0.71%**

3.3.6 Contenido de Humedad (ASTM C566-97)

Se define como el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, expresado en porcentaje (%).

$$\text{Contenido de humedad}(\%) = \frac{P_{\text{húmeda}} - P_{\text{seca}}}{P_{\text{seca}}}$$

El agregado grueso tiene un:

$$\text{Contenido de humedad}_{\text{promedio}}(\%) = 0.15\%$$

3.3.7 Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C29)

El peso unitario es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen especificado, es decir la masa neta del agregado en el recipiente dividida entre el volumen del recipiente, expresado en kg/m³; representará el peso unitario para uno u otro grado de compactación.

El peso unitario de los agregados en los concretos de peso normal, entre 2000 kg/m³ y 2400 kg/m³, generalmente varía entre 1500 kg/m³ y 1700 kg/m³.

La norma NTP 400.017 reconoce dos grados de compactación.

I. **Peso unitario suelto:**

Se llena el agregado grueso en balde metálico de ½ pie³, esté llenado se realizará en una sola capa sin golpear ni chucear, al término del llenado se

tiene que enrasar suavemente con la varilla metálica de 5/8" y se pesa. El peso unitario es:

$$\text{Peso unitario suelto}_{\text{promedio}} = 1347.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

II. **Peso unitario compactado:**

Se llena el agregado grueso en un recipiente metálico de ½ pie³, se va llenando en tres capas, cada capa con 25 golpes que se distribuirán en forma de espiral sobre el agregado, la varilla con las que se realizará los golpes es de acero liso 5/8" de diámetro y de 60cm de longitud con ambos extremos redondeados. El peso unitario compactado es:

$$\text{Peso unitario compactado}_{\text{promedio}} = 1480.39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A continuación, se presenta el cuadro resumen (Cuadro 3.3.2) de las propiedades físicas para el agregado fino y grueso.

CUADRO 3.3.2

CUADRO RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.396	2.661
Peso específico de masa s.s.s (gr/cm ³)	2.481	2.681
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.617	2.713
Porcentaje de absorción (%)	1.30%	0.71%
Contenido de humedad (%)	1.40%	0.15%
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1447.32	1347.96
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1595.81	1480.39
Módulo de finura	3.54	7.44
Tamaño máximo nominal	-----	1 1/2"
Módulo de finura del Agregado Global	5.65	

3.4 Agregado Global

3.4.1 Generalidades

Al agregado global, también se le conoce en el Perú como agregado integral, que viene a ser la selección adecuada de los agregados, y a su graduación correspondiente se le llama Granulometría Total, el cual se considera que las partículas de los agregados combinados sea tal que el volumen de vacíos sea mínimo.

A la combinación de agregados totales se le evalúa usando curvas teóricas y husos totales; como los HUSOS DIN 1045 (ver cuadro 3.4.1) para el agregado global.

CUADRO 3.4.1
HUSOS DIN 1045

TAMIZ	% QUE PASA		
	I	II	III
31.50 mm	100.00	100.00	100.00
16.00 mm	80.00	88.00	89.00
8.00 mm	63.00	75.00	77.00
4.00 mm	55.00	70.00	65.00
2.00 mm	40.00	57.00	53.00
1.00 mm	28.00	47.00	42.00
0.25 mm	18.00	35.00	15.00

3.4.2 Peso Unitario Compactado

Para lograr una óptima granulometría del agregado global, para el diseño de un concreto de calidad, trabajabilidad y economía; es necesario determinar las proporciones de agregado fino y agregado grueso de manera que obtengamos un agregado de mayor peso unitario compactado.

Dicha combinación de máxima densidad generará un volumen mínimo de vacíos, condición garantiza la economía en el concreto.

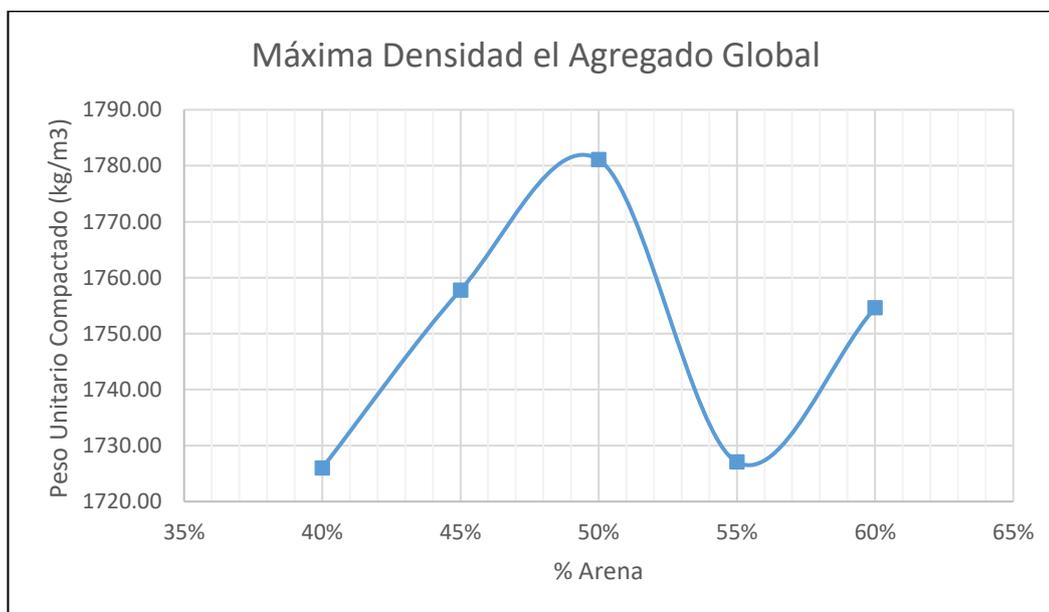
Tomaremos muestras de los agregados, bajo diferentes proporciones, para obtener el mayor peso unitario compactado, como se observa en el cuadro 3.4.2

CUADRO 3.4.2

COMBINACIÓN DE AGREGADOS MEDIANTE EL PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL

PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS		PUC (kg/m ³)
ARENA (%)	PIEDRA (%)	
40	60	1726.00
45	55	1757.79
50	50	1781.10
55	45	1727.06
60	40	1754.61

GRÁFICO 3.4.1: MÁXIMA DENSIDAD DEL AGREGADO GLOBAL



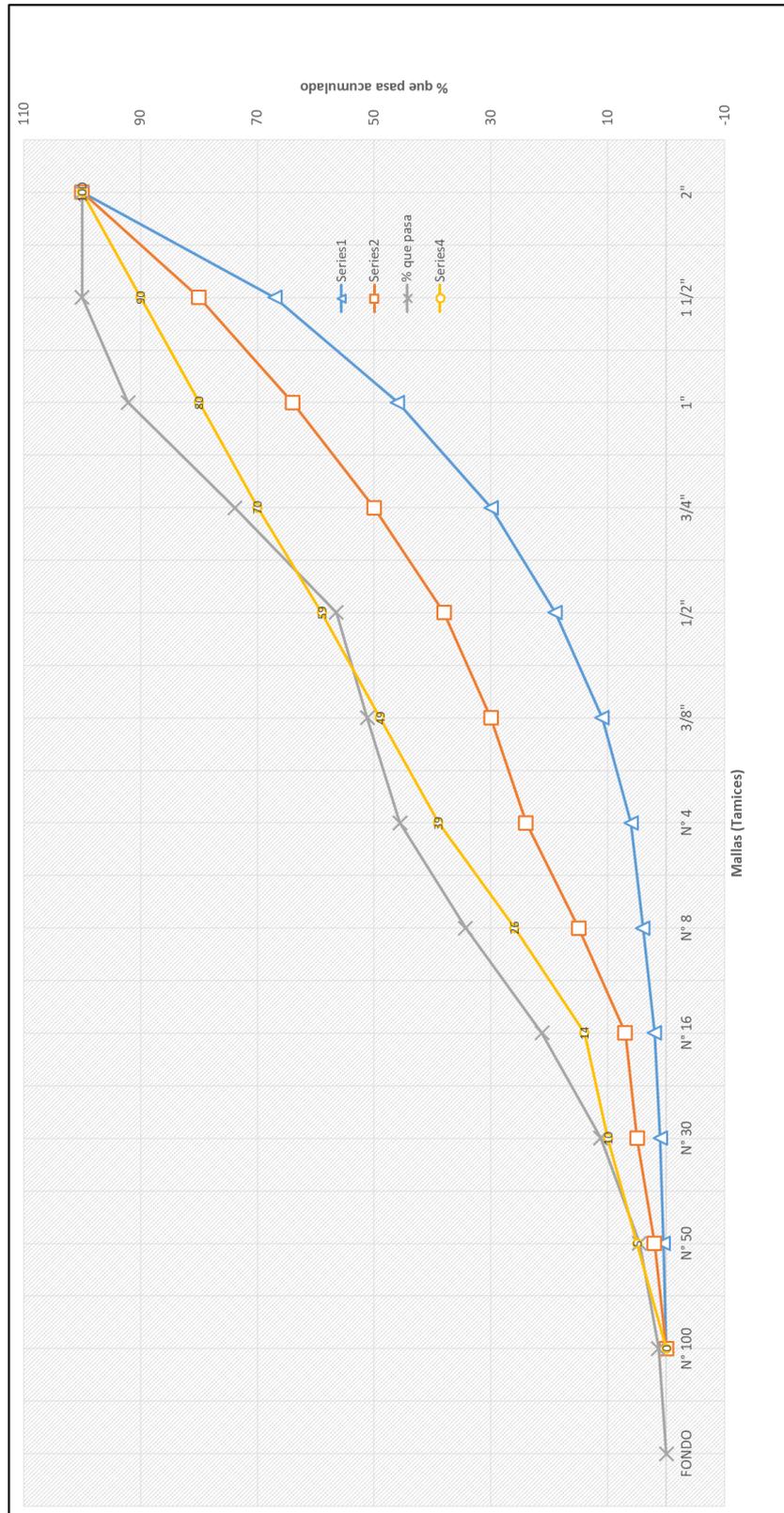
Podemos observar en el gráfico 3.4.1, que la mejor combinación de agregados para tener un máximo peso unitario compactado, se encuentra entre 45% y 50% de agregado fino; por tal motivo consideramos a este rango como un primer indicador de los porcentajes de participación de los agregados en la mezcla.

CUADRO 3.4.3: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL

Tamiz ASTM	Arena (48%)	Piedra (52%)	% Retenido de la Arena	% Retenido de la Piedra	% Retenido Global	% Retenido acumulado	% que pasa
2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"		15.09	0.00	7.85	7.85	7.85	92.15
3/4"		35.13	0.00	18.27	18.27	26.11	73.89
1/2"		33.46	0.00	17.40	17.40	43.51	56.49
3/8"	0.00	10.22	0.00	5.32	5.32	48.83	51.17
N° 4	5.20	5.88	2.50	3.06	5.55	54.38	45.62
N° 8	23.25	0.22	11.16	0.12	11.28	65.66	34.34
N° 16	27.26		13.09	0.00	13.09	78.74	21.26
N° 30	20.95		10.06	0.00	10.06	88.80	11.20
N° 50	13.80		6.63	0.00	6.63	95.43	4.57
N° 100	6.80		3.27	0.00	3.27	98.69	1.31
FONDO	2.73		1.31	0.00	1.31	100.00	0.00

Y el módulo de finura para el agregado global es: 5.65

GRÁFICO 3.4.2: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GLOBAL



3.5 Fibra de acero

3.5.1 Características Generales

Para esta investigación se utilizó el tipo de fibra metálica SIKA FIBER CHO 80/60 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto usado en losas de concreto tradicional e industriales y elementos de concreto pre-fabricado, especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el concreto durante el mezclado, evitando la aglomeración de las fibras individuales. Sika® Fiber CHO 80/60 NB son fibras de acero de alta relación longitud / diámetro (l/d) lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.

3.5.2 Características geométricas de las Fibras de Acero

La fibra Sika® Fiber CHO 80/60 NB:

- Longitud (L): 60mm
- Diámetro (D): 0.75mm
- Relación de aspecto $\lambda=L/D$: 80
- Resistencia a tracción: 1200 N/mm²
- Elongación de rotura: 4% máx.

3.5.3 Aplicaciones de la fibra metálica

Sika Fiber CHO 80/60 NB, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del concreto. En elementos de concretos pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (tráfico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de concreto para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puertos, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques, etc.

3.6 Agua

El agua es indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por tanto, este componente debe cumplir con los requisitos de la NTP 339.088.

Una regla básica para saber si determinada agua sirve para la elaboración de concreto, es que dicha agua debe ser potable, o mejor dicho debe ser apta para consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto.

Los requisitos que recomienda la norma NTP 339.088 se aprecia en el siguiente cuadro 3.5.1:

CUADRO 3.6.1
REQUISITOS DE CALIDAD NTP 339.088

Descripción	Límites permisibles
Sólidos en suspensión	5000 ppm Máximo
Materia orgánica	3 ppm Máximo
Alcalinida (NaHCO_3)	1000 ppm Máximo
Sulfatos (ion SO_4)	600 ppm Máximo
Cloruros (ion Cl^{-1})	1000 ppm Máximo
pH	5 a 8

Respecto a las características físico – químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativa frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, oxido de carbono disuelto, etc.

Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS

4.1 Generalidades

El diseño de mezcla de concreto, viene a ser la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos del proyecto constructivo.

Existen diversos métodos de diseño de mezcla de concreto, para la aplicación de estos métodos; se ha desarrollado en base a experiencias realizadas por los investigadores, diversas tablas y factores.

En la práctica, la experiencia ha demostrado que la aplicación de estas recomendaciones muchas veces no conduce a obtener resultados previstos por las tablas y/o factores, y todo esto es de esperarse ya que dichas recomendaciones y tablas utilizadas para los diseños de mezcla teóricos, han sido elaboradas con materiales y condiciones propias del medio en el cual fueron realizadas. Por lo tanto, estos métodos y tablas constituyen solamente una guía base; a la que debemos realizar mezclas de prueba con los materiales que utilicemos, para que después de los correspondientes ajustes logremos determinar el diseño de mezcla final que cumpla con nuestros requerimientos.

En la presente investigación, para el diseño de mezcla se ha seguido la secuencia del método del Comité 211 del ACI; teniendo como variantes la determinación de las propiedades físicas de los agregados, así como también el porcentaje de intervención de estos agregados en el diseño de mezcla.

Las relaciones agua/cemento que han sido utilizadas en la presente investigación para el diseño de concreto son: 0.40, 0.45 y 0.50.

4.2 Diseño de Mezclas

4.2.1 Datos para el diseño

- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Tamaño nominal máximo del agregado grueso
- Forma y textura del agregado grueso
- Peso específico de los agregados

- Contenido de humedad de los agregados
- Porcentaje de los agregados
- Proporción de los agregados

4.2.2 Procedimiento para el diseño de mezcla

1. Elección de la relación agua/cemento.
2. Elección de la consistencia.
3. Estimación del contenido de aire atrapado por m³ de concreto.
4. Calculo de la cantidad de cemento por m³ de concreto.
5. Calculo de la suma de volúmenes de agregado fino y grueso
6. Calculo del peso seco por metro cúbico de los agregados fino y grueso, de acuerdo a las proporciones establecidas.
7. Cálculo de los volúmenes de metro cúbico de los agregados fino y grueso.
8. Corrección de los pesos de los agregados fino y grueso por humedad natural de estos agregados.
9. Corrección de la cantidad de agua de diseño por humedad de los agregados.
10. Para el diseño de una tanda de laboratorio se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales respectivos para 48 kg de concreto

En la presente Tesis se han considerado como diseños de mezcla patrón a las determinadas por la relación agua/cemento= 0.40, 0.45 y 0.50 con Cemento Portland Tipo I, para un asentamiento entre 3"-4".

4.2.3 Determinación de la relación de agregados de acuerdo al ensayo de máxima compactación

También conocido como el ensayo de mayor acomodo de los agregados en el concreto, el cual consiste en obtener la Óptima Proporción de Agregados con el Máximo Peso Unitario Compactado, pues con esta combinación logramos obtener la menor cantidad de vacíos en el concreto, por tal motivo se necesitará menos cantidad de pasta de cemento, esta condición garantizará la mayor economía en el concreto.

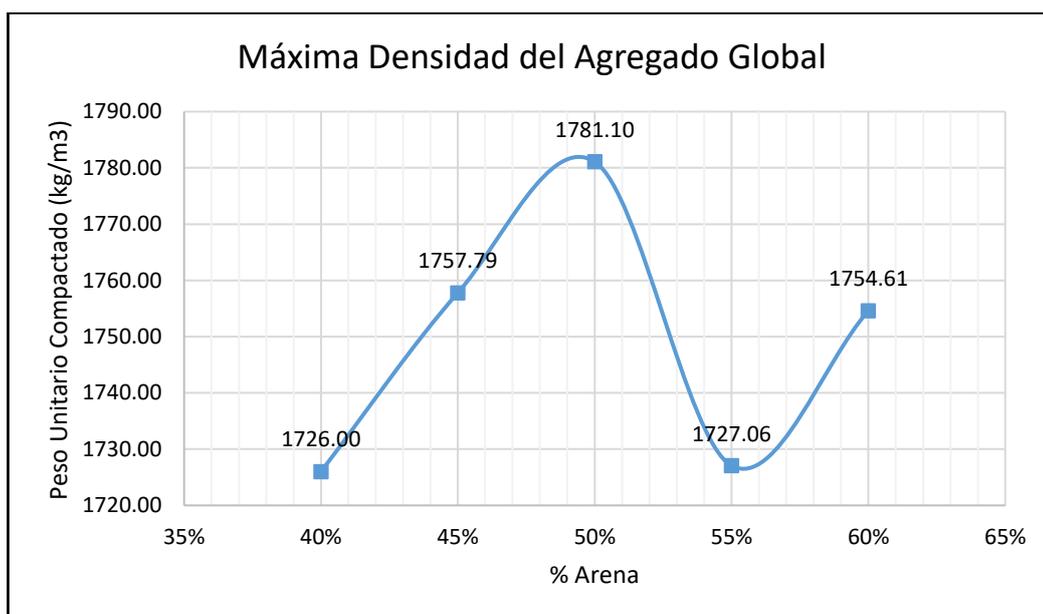
El criterio de diseño utilizado será el de la mejor combinación de agregados, el cual fue determinada mediante el peso unitario compactado del Agregado Global. En el cuadro 4.3.1, se observará la variación del peso unitario compactado para las diferentes proporciones entre la Arena y Piedra, en el Gráfico 4.3.1 se puede apreciar con mayor claridad; que el rango donde las proporciones de Arena y Piedra con mayor peso unitario compactado esta entre 45%-50%.

CUADRO 4.3.1

COMBINACIÓN DE AGREGADOS MEDIANTE EL PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL

PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS		PUC (kg/m ³)
ARENA (%)	PIEDRA (%)	
40	60	1726.00
45	55	1757.79
50	50	1781.10
55	45	1727.06
60	40	1754.61

GRÁFICO 4.3.1 MÁXIMA DENSIDAD DEL AGREGADO GLOBAL



Una vez obtenido el rango donde sucede el Máximo Peso Unitario Compactado del agregado global, tomaremos como segundo indicador la resistencia a la compresión ensayado a los 7 días; el diseño se realizará con una relación a/c=0.40 variando el porcentaje de los agregados dentro del rango 45%-50%. Las proporciones de los agregados fueron:

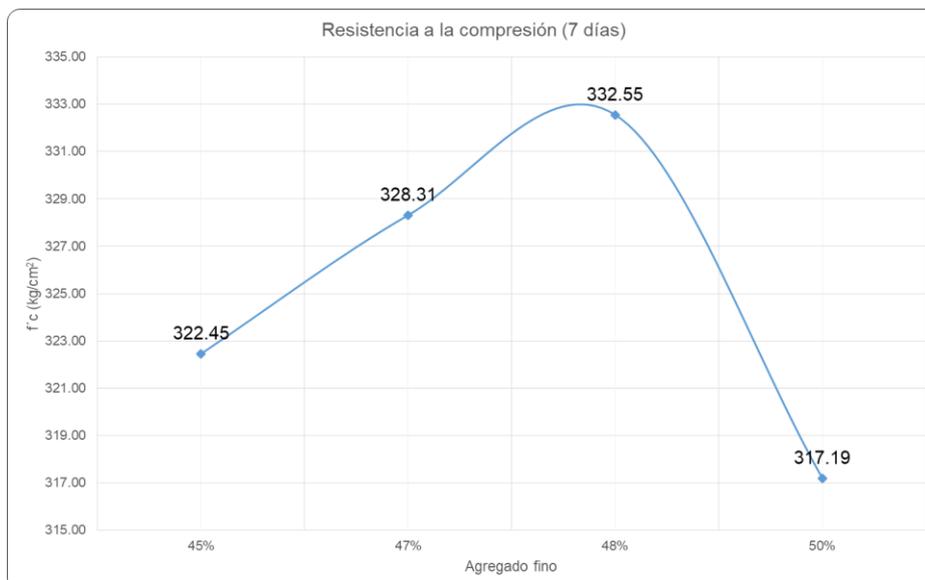
% Arena	45	47	48	50
% Piedra	55	53	52	45

CUADRO 4.3.2

ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE CURADO

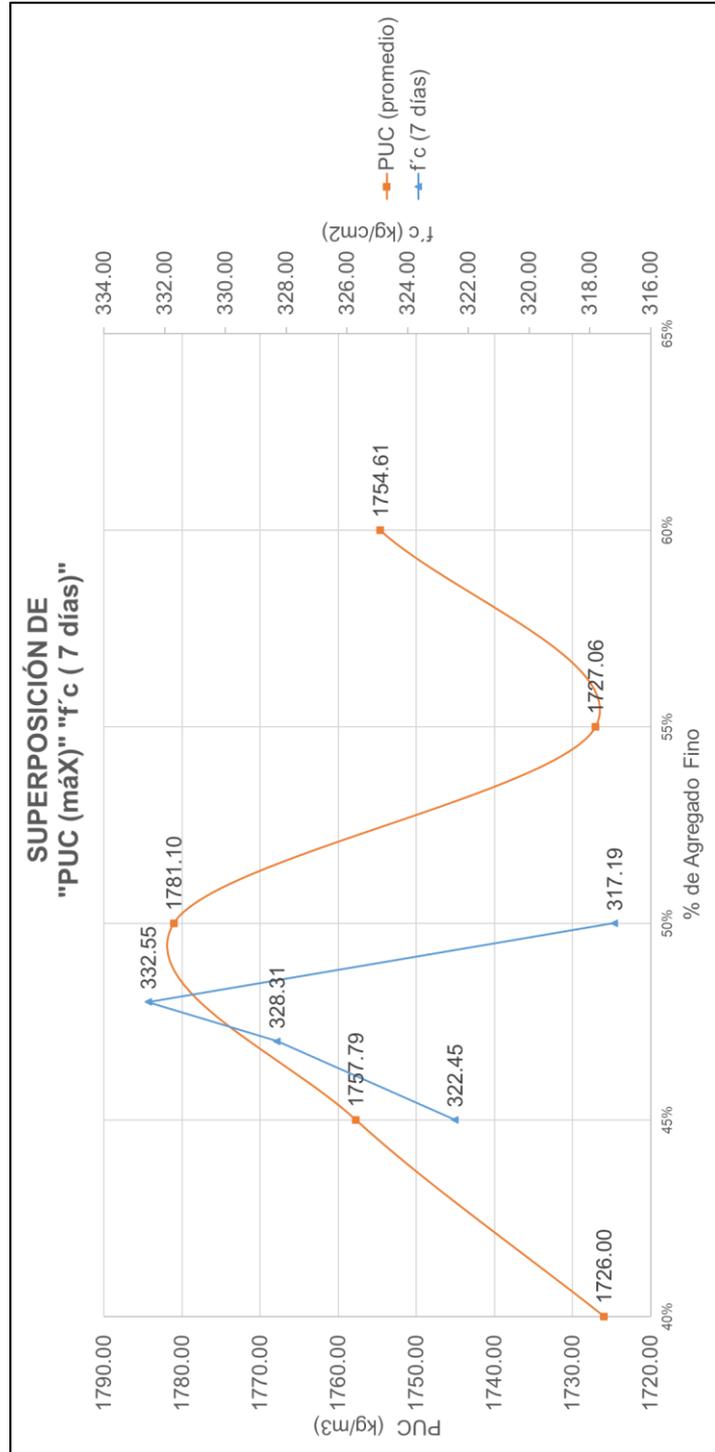
RELACIÓN ARENA (%)	PROMEDIO (kg/cm ²)
45	322.45
47	328.31
48	332.55
50	317.19

GRÁFICO 4.3.2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS VS RELACIÓN ARENA-PIEDRA



En el Gráfico 4.3.2 se puede observar que con la combinación de arena y piedra 48-52%, obtenemos la mayor resistencia a la compresión, por lo tanto, escogeremos dichos porcentajes para el diseño de mezcla de concreto.

GRÁFICO 4.3.3: SUPERPOSICIÓN DE GRÁFICAS PARA OBTENER LA MEJOR COMBINACIÓN DE AGREGADOS Y A LA VEZ CON UNA BUENA RESISTENCIA



CUADRO 4.4.1

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.396	2.661
Peso específico de masa s.s.s (gr/cm ³)	2.481	2.681
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.617	2.713
Porcentaje de absorción (%)	1.30%	0.71%
Contenido de humedad (%)	1.40%	0.15%
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1447.32	1347.96
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1595.81	1480.39
Módulo de finura	3.54	7.44
Tamaño máximo nominal	-----	1 1/2"
Módulo de finura del Agregado Global	5.65	

CEMENTO PORTLAND TIPO I- SOL	
Peso específico (kg/m ³)	3110

4.3 Diseño de Mezcla Preliminar

El objetivo del diseño de mezcla preliminar es obtener las cantidades adecuadas de agregados y agua óptimos.

Con respecto a la cantidad adecuada de los agregados se obtuvo que la relación de arena y piedra 48% y 52% es la óptima, para esta investigación desarrollaremos 03 tipos de relaciones de agua-cemento; cada una de estas relaciones de a/c contendrán 03 cantidades tentativas de agua como veremos a continuación:

a/c	Agua (litros)		
	Cantidad 1	Cantidad 2	Cantidad 3
0.40	250	255	260
0.45	240	245	250
0.50	230	235	240

Se elaborará una gráfica “Cantidad de Agua VS Asentamiento” para cada relación agua/cemento, esto nos ayudará a escoger la cantidad de agua óptima que nos proporcione la trabajabilidad adecuada esperada, es decir, un Slump entre 3”-4”.

Con estos nuevos datos, elaboraremos los diseños de mezcla definitivos para da relación agua/cemento, estos serán denominados diseños de mezcla patrón.

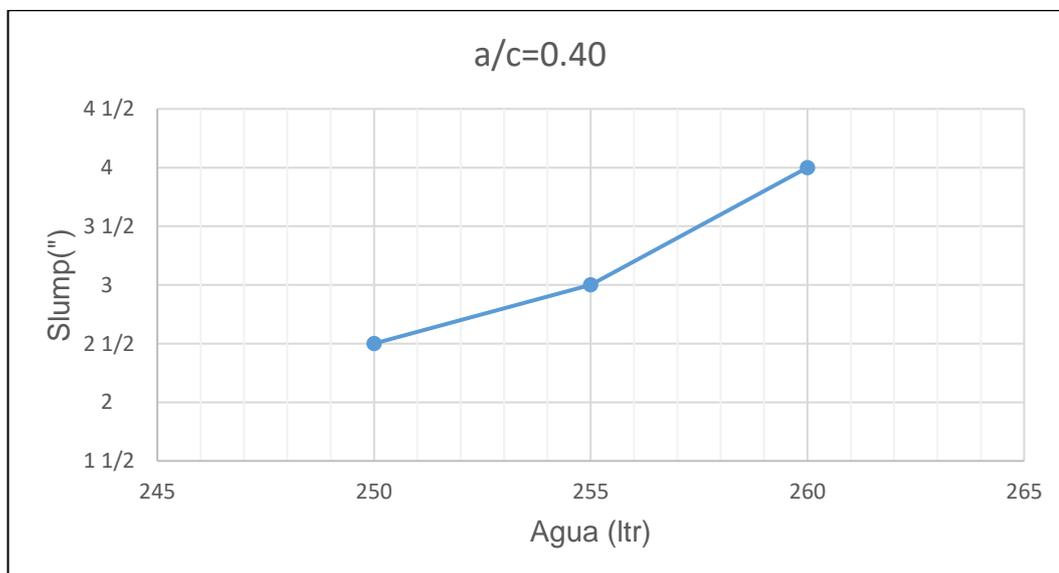
4.3.1 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.40

1) Diseño de 1m³ de concreto para una tanda de laboratorio de 48kg.

Tanda de laboratorio (48kg)	Cantidad de Agua (litros)		
	250	255	260
Cemento	13.33	13.63	13.93
Agua	5.40	5.52	5.64
Arena	14.14	13.94	13.73
Piedra	15.13	14.91	14.70
Asentamiento	2 1/2"	3"	4"

2) Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c=0.40

Con cada asentamiento de los diseños para las diferentes cantidades de agua del diseño de mezcla preliminar de a/c=0.40, se realiza la gráfica "Cantidad de agua vs Asentamiento".



Del gráfico se deduce que la cantidad de agua para un asentamiento entre 3"-4" para una relación agua/cemento de 0.40 es: 260 litros.

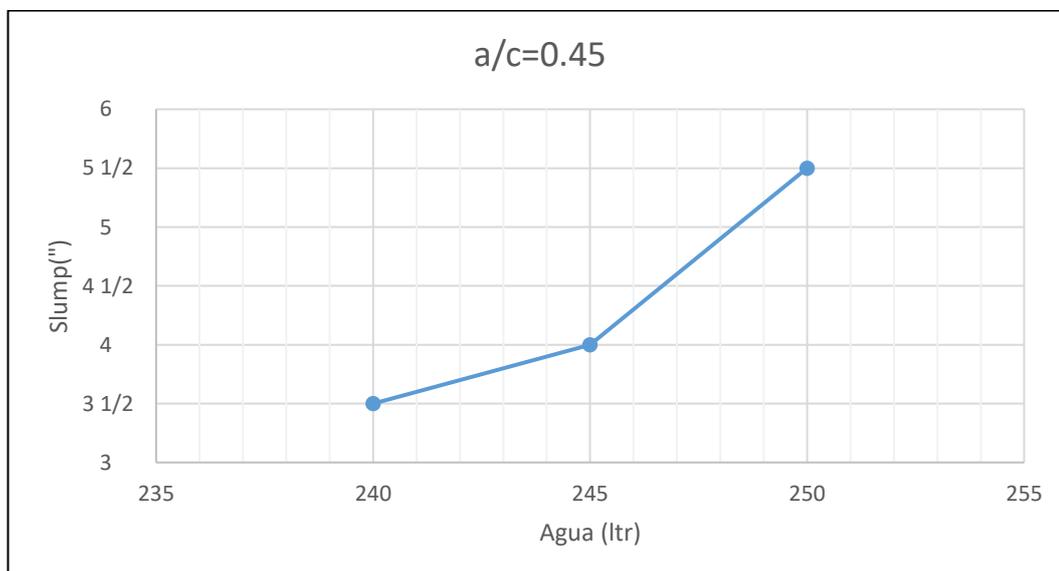
4.3.2 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.45

1) Diseño de 1m³ de concreto para una tanda de laboratorio de 48kg.

Tanda de laboratorio (48kg)	Cantidad de Agua (litros)		
	240	245	250
Cemento	11.38	11.64	11.91
Agua	5.20	5.31	5.43
Arena	15.18	15.00	14.81
Piedra	16.24	16.05	15.84
Asentamiento	3 1/2"	4"	5 1/2"

2) Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c=0.45

Con cada asentamiento de los diseños para las diferentes cantidades de agua del diseño de mezcla preliminar de a/c=0.45, se realiza la gráfica "Cantidad de agua vs Asentamiento".



Del gráfico se deduce que la cantidad de agua para un asentamiento entre 3"-4" para una relación agua/cemento de 0.45 es: 245 litros.

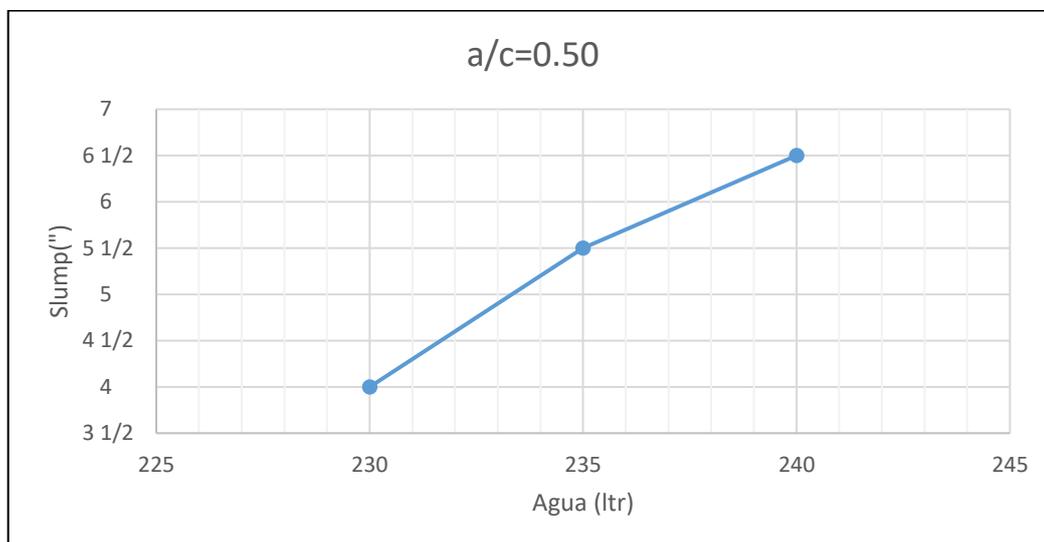
4.3.3 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.50

1) Diseño de 1m³ de concreto para una tanda de laboratorio de 48kg.

Tanda de laboratorio (48kg)	Cantidad de Agua (litros)		
	230	235	240
Cemento	9.80	10.04	10.28
Agua	4.98	5.10	5.22
Arena	16.05	15.87	15.70
Piedra	17.17	16.98	16.80
Asentamiento	4"	5 1/2"	6 1/2"

2) Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c=0.50

Con cada asentamiento de los diseños para las diferentes cantidades de agua del diseño de mezcla preliminar de a/c=0.50, se realiza la gráfica "Cantidad de agua vs Asentamiento".



Del gráfico se deduce que la cantidad de agua para un asentamiento entre 3"-4" para una relación agua/cemento de 0.50 es: 230 litros.

4.4 Diseño de Mezcla Patrón

Después de determinar las cantidades óptimas de agua de cada relación de agua/cemento (a/c), obtenemos el diseño patrón.

4.4.1 Diseño Patrón con relación a/c=0.40

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	260	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.40	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	650.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	650.00	0.209	1.00	14.01	13.93
Agua	260.00	0.260	0.40	5.60	5.64
Arena	632.09	0.264	0.97	13.62	13.73
Piedra	684.76	0.257	1.05	14.76	14.70
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4”.

Tanda de laboratorio:

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs. m ³	Tanda (kg)
Cemento	650.00	0.21	13.93
Agua	260.00	0.26	5.64
Arena	632.09	0.26	13.73
Piedra	684.76	0.26	14.70
Aire atrapado (%)	1.00%	0.01	
Suma Total	2,226.85	1.00	

4.4.2 Diseño Patrón con relación a/c=0.45

Se procede a realizar el diseño de mezcla siguiendo la secuencia del ítem 4.2.2, considerando la cantidad de agua 245 litros/m³.

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	245	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.45	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	544.44	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	544.44	0.175	1.00	11.72	11.64
Agua	245.00	0.245	0.45	5.27	5.31
Arena	691.46	0.289	1.27	14.88	15.00
Piedra	749.08	0.281	1.38	16.12	16.05
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4".

Tanda de laboratorio:

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs. m ³	Tanda (kg)
Cemento	544.44	0.175	11.64
Agua	245.00	0.245	5.31
Arena	691.46	0.289	15.00
Piedra	749.08	0.281	16.05
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010	
Suma Total	2,229.99	1.00	

4.4.3 Diseño Patrón con relación a/c=0.50

Se procede a realizar el diseño de mezcla siguiendo la secuencia del ítem 4.2.2, considerando la cantidad de agua 230 litros/m³.

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	230	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.50	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	460.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	460.00	0.148	1.00	9.87	9.80
Agua	230.00	0.230	0.50	4.93	4.98
Arena	742.60	0.310	1.61	15.93	16.05
Piedra	804.49	0.302	1.75	17.26	17.17
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4".

Tanda de laboratorio:

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs. m ³	Tanda (kg)
Cemento	460.00	0.148	9.80
Agua	230.00	0.230	4.98
Arena	742.60	0.310	16.05
Piedra	804.49	0.302	17.17
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010	
Suma Total	2,237.09	1.00	

4.5 Diseño de Mezcla Patrón con Fibra de acero

Una vez obtenido el diseño patrón, se procederá a realizar el diseño de mezcla incluyendo la Fibra Metálica SIKA FIBER CHO 80/60 NB.

De acuerdo con el diseño de cada relación de a/c se calculará la cantidad de fibra metálica para una tanda de laboratorio con las siguientes dosificaciones: 15kg/m³, 30kg/m³, 45kg/m³.

Usaremos la siguiente expresión para dicho cálculo:

$$C = \frac{DxT}{S}$$

Donde:

C: Cantidad de fibra para la mezcla (kg)

D: Dosificación de la fibra metálica (kg/m³)

T: Tanda de mezcla en el laboratorio (kg)

S: Suma de los pesos húmedos del cemento, agua, piedra y arena (kg/m³)

4.5.1 Diseño de mezcla patrón con fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB

- Diseño de mezcla Patrón con $a/c=0.40$

Descripción	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
Dosificación de Fibra Metálica	15 kg/m ³	30 kg/m ³	45 kg/m ³
Cemento	13.93	13.93	13.93
Agua	5.64	5.64	5.64
Arena	13.73	13.73	13.73
Piedra	14.70	14.70	14.70
Fibra Metálica	0.321	0.643	0.964

- Diseño de mezcla Patrón con $a/c=0.45$

Descripción	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
Dosificación de Fibra Metálica	15 kg/m ³	30 kg/m ³	45 kg/m ³
Cemento	11.64	11.64	11.64
Agua	5.31	5.31	5.31
Arena	15.00	15.00	15.00
Piedra	16.05	16.05	16.05
Fibra Metálica	0.321	0.642	0.962

- Diseño de mezcla Patrón con $a/c=0.50$

Descripción	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
Dosificación de Fibra Metálica	15 kg/m ³	30 kg/m ³	45 kg/m ³
Cemento	9.80	9.80	9.80
Agua	4.98	4.98	4.98
Arena	16.05	16.05	16.05
Piedra	17.17	17.17	17.17
Fibra Metálica	0.320	0.639	0.959

4.5.2 Cuadro resumen de los diseños de mezcla patrón con fibras metálicas

**CUADRO RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN
 CON FIBRAS METÁLICAS**

Descripción de Materiales		a/c= 0.40			a/c= 0.45			a/c= 0.50		
		15 kg/m ³	30 kg/m ³	45 kg/m ³	15 kg/m ³	30 kg/m ³	45 kg/m ³	15 kg/m ³	30 kg/m ³	45 kg/m ³
Dosificación de fibra metálica	und									
Cemento	kg	13.93	13.93	13.93	11.64	11.64	11.64	9.8	9.8	9.8
Agua	lt	5.64	5.64	5.64	5.31	5.31	5.31	4.98	4.98	4.98
Arena	kg	13.73	13.73	13.73	15	15	15	16.05	16.05	16.05
Piedra	kg	14.7	14.7	14.7	16.05	16.05	16.05	17.17	17.17	17.17
Fibra Metálica	kg	0.321	0.643	0.964	0.321	0.642	0.962	0.32	0.639	0.959

CAPÍTULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los ensayos a los que fueron sometidas las mezclas de concreto fueron: peso unitario, asentamiento, tiempo de fragua, exudación y contenido de aire.

5.1 Ensayos del concreto en estado fresco

5.1.1 Peso Unitario (NTP 339.046 – ASTM C138)

El peso unitario clasifica al concreto como normal, liviano y denso. Es un indicador que verifica la uniformidad del concreto. El peso unitario de los concretos comunes varía entre los 2300 kg/m³ y 2500 kg/m³, dependiendo de las características y tamaño del agregado grueso.

5.1.2 Asentamiento (NTP 339.035 – ASTM C413)

El asentamiento es la capacidad de la mezcla de mantenerse homogénea con una permanencia en un estado determinado en función del tiempo. El método de determinación empleado es el ensayo del “Cono de Abrams” que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o centímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definida y tronco cónico.

Se puede clasificar al concreto de acuerdo a su asentamiento en tres grupos:

- Concretos consistentes o secos, con asentamiento de 0” a 2”.
- Concreto plástico, con asentamiento de 3” a 4”.
- Concretos fluidos, con asentamiento con más de 5”.

5.1.3 Tiempo de fragua (NTP 339.082 – ASTM C403)

Es la propiedad que representa el tiempo en el que el concreto fresco va cambiando de su consistencia plástica y moldeable a una etapa sólida e indeformable. El tiempo de fraguado se mide en tiempo de fraguado inicial y tiempo e fraguado final.

5.1.4 Exudación (NTP 339.077 – ASTM C232)

La exudación es un tipo de segregación del concreto por el cual parte del agua de diseño se separa de la masa y emerge desde el interior de la mezcla hasta la superficie del concreto. Esta propiedad del concreto en estado fresco ocurre

inevitablemente en el concreto normal, y en algunos casos no existe, como también disminuye debido al uso de aditivos reductores de agua.

5.1.5 Contenido de aire (NTP 339.083 – ASTM C173)

Toda mezcla de concreto tiene aire atrapado entre los materiales (agua, cemento y agregados). La cantidad de este aire depende de las propiedades físicas del agregado, del método de compactación y de las proporciones en que se han combinado los ingredientes en la mezcla. Generalmente este aire ocupa del 1% al 3% de volumen de la mezcla salvo que el concreto este expuesto a cambios brusco de temperatura (congelarse y descongelarse), para lo cual se necesita incorporar aire mediante el uso de aditivos, por lo tanto, el volumen de aire en la mezcla aumentaría.

Hay tres métodos para medir el contenido de aire total en el concreto fresco:

- Gravimétrico
- Volumétrico
- De presión

El método más confiable y exacto es el de presión, el cual se basa en la relación entre el volumen de aire y la presión aplicada (a una temperatura constante). No se necesita conocer las proporciones de la mezcla o las propiedades de los materiales, el porcentaje de aire se obtiene directamente.

GRÁFICO 5.1.1: ENSAYO DE PESO UNITARIO vs RELACIÓN A/C

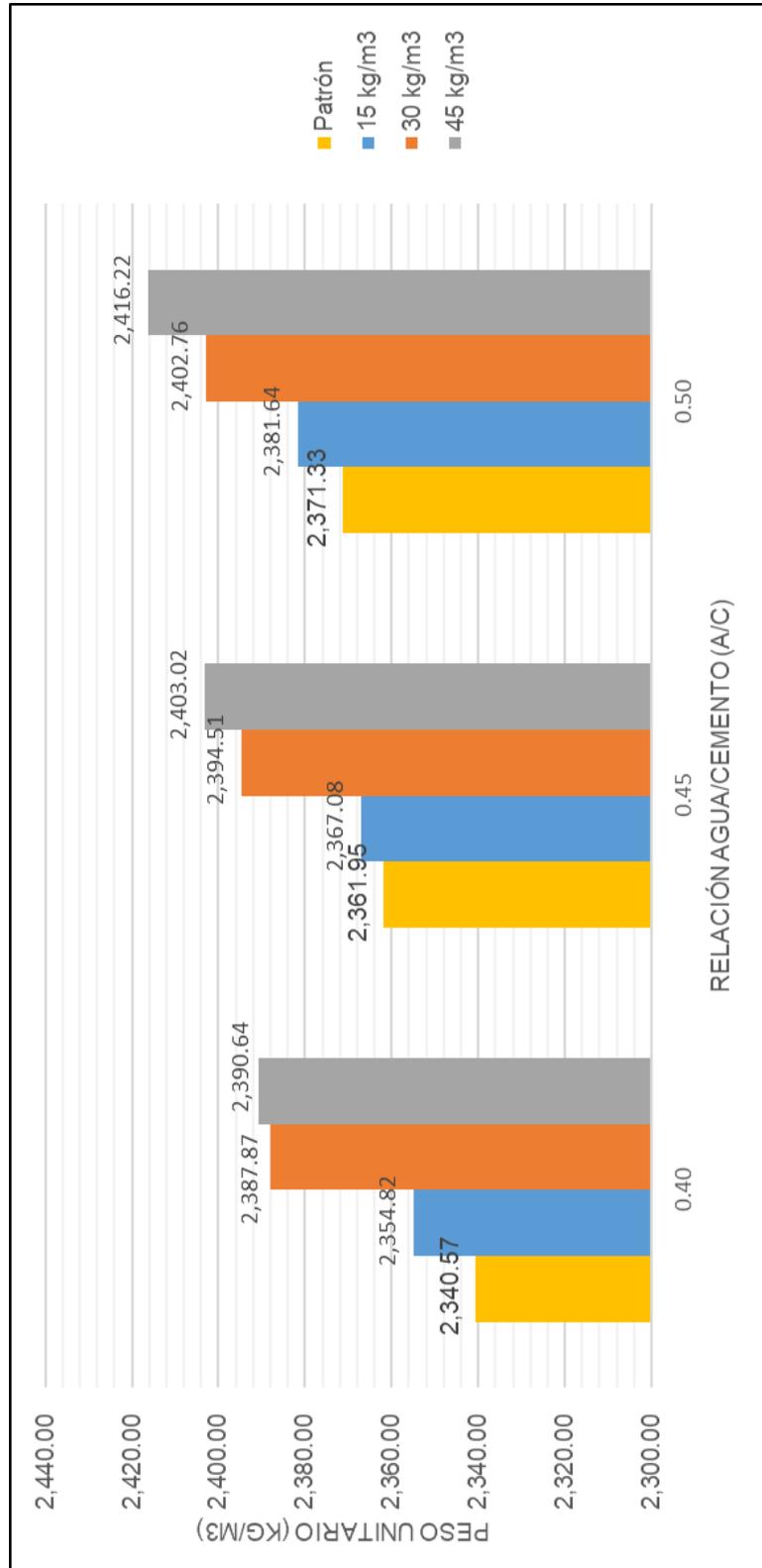


GRÁFICO 5.1.2: ENSAYO DE ASENTAMIENTO vs RELACIÓN A/C

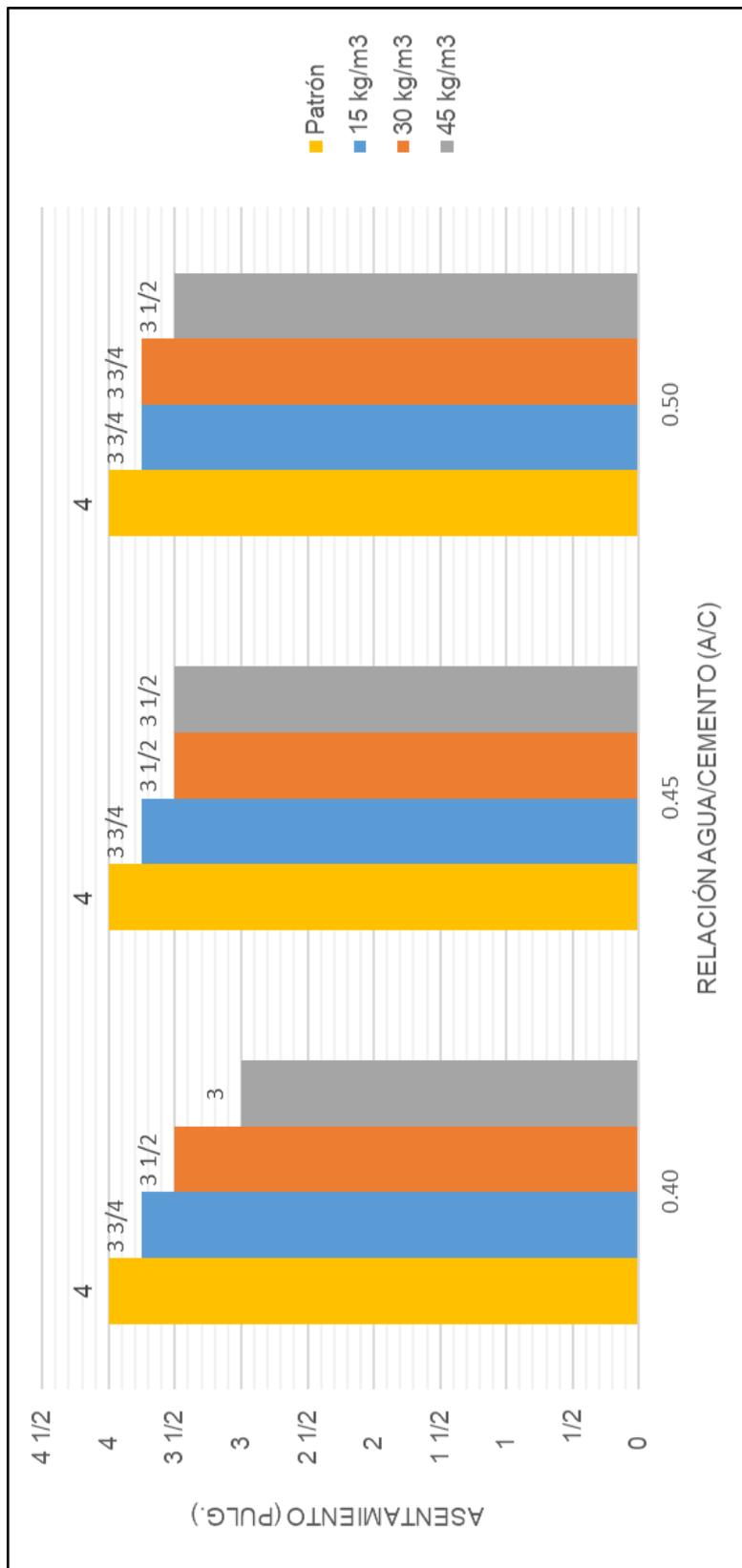


GRÁFICO 5.1.1.3: ENSAYO DE EXUDACIÓN vs RELACIÓN A/C

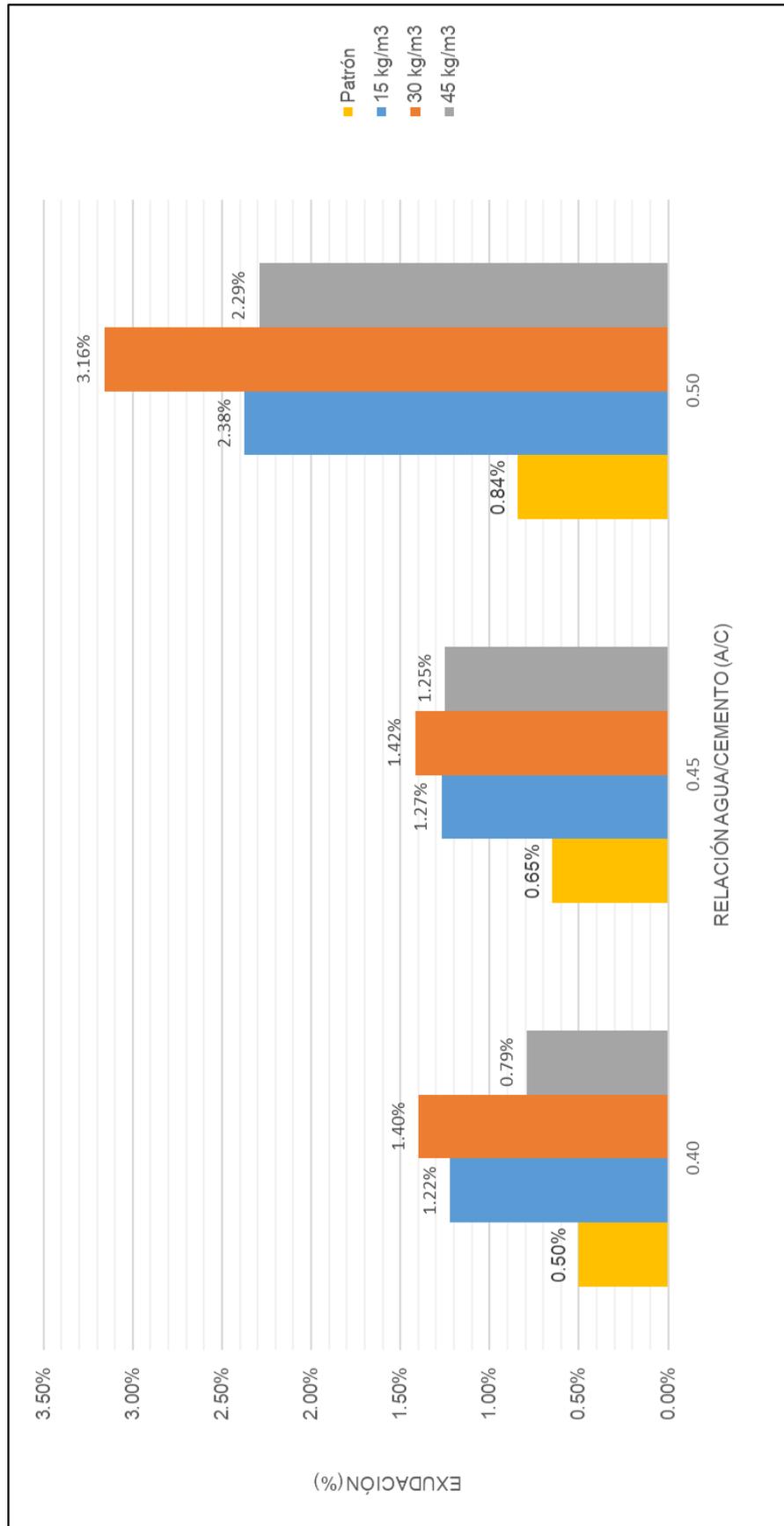


GRÁFICO 5.1.4: ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA INICIAL vs RELACIÓN A/C

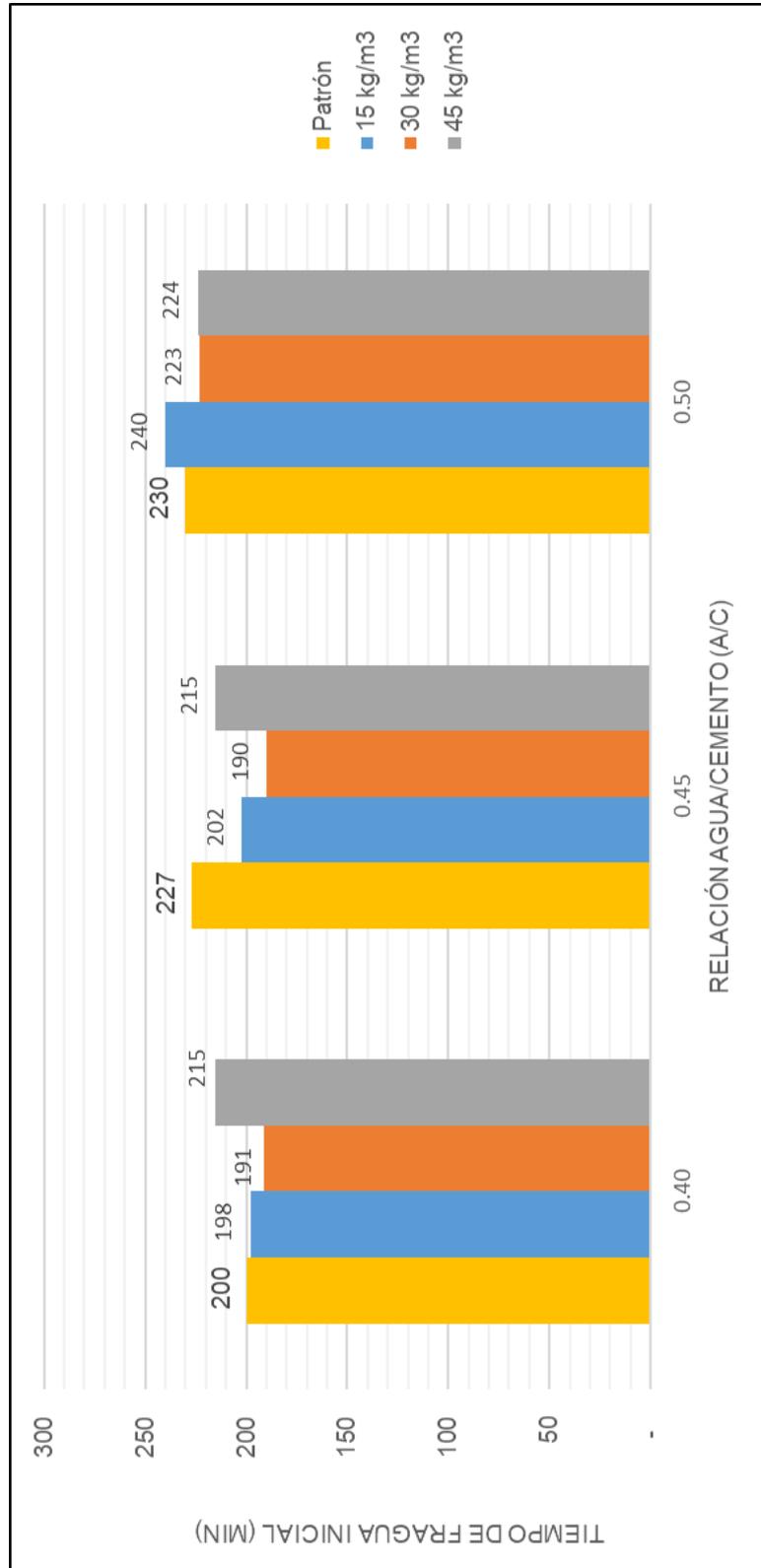


GRÁFICO 5.1.5: ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA FINAL vs RELACIÓN A/C

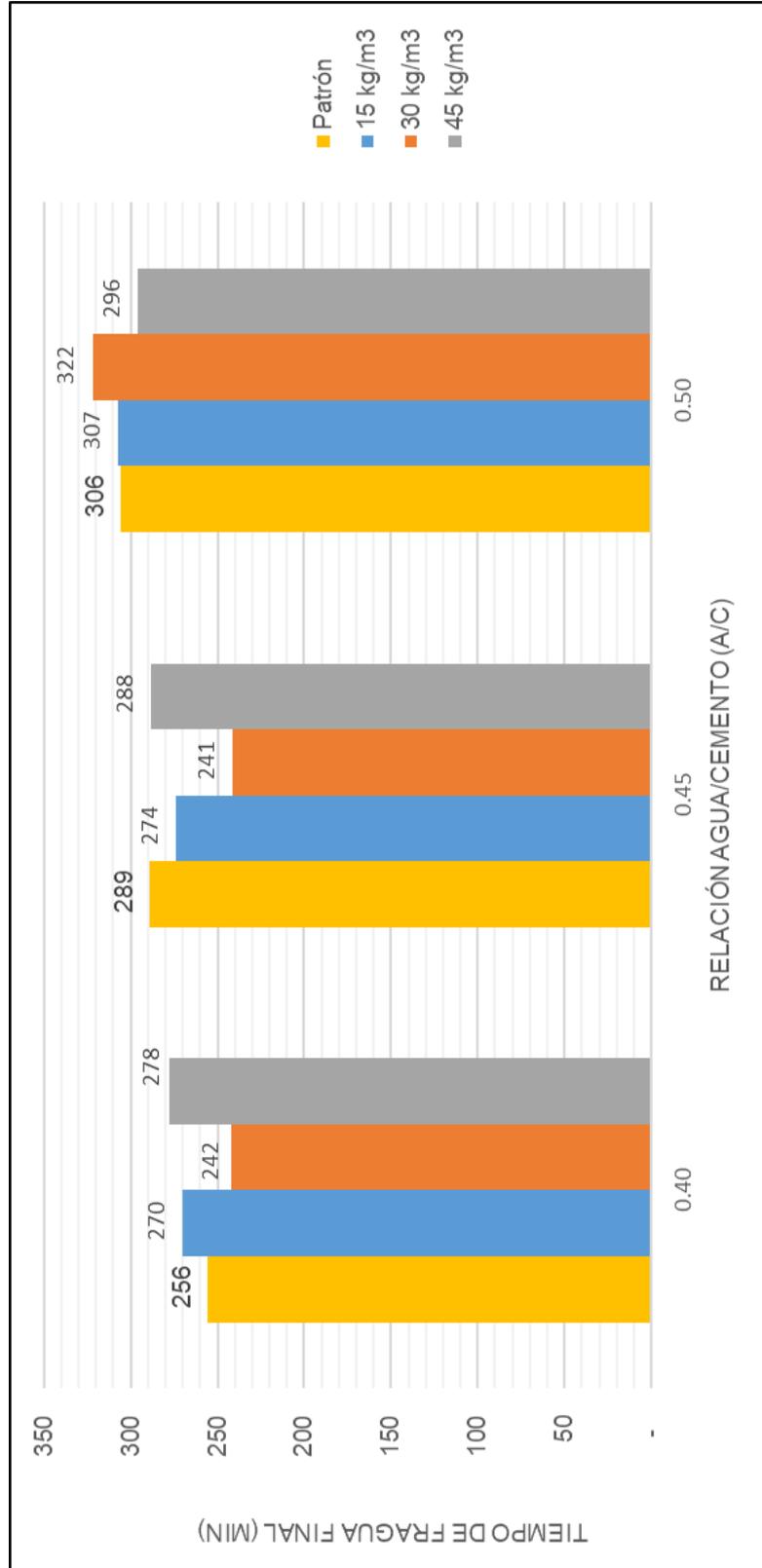
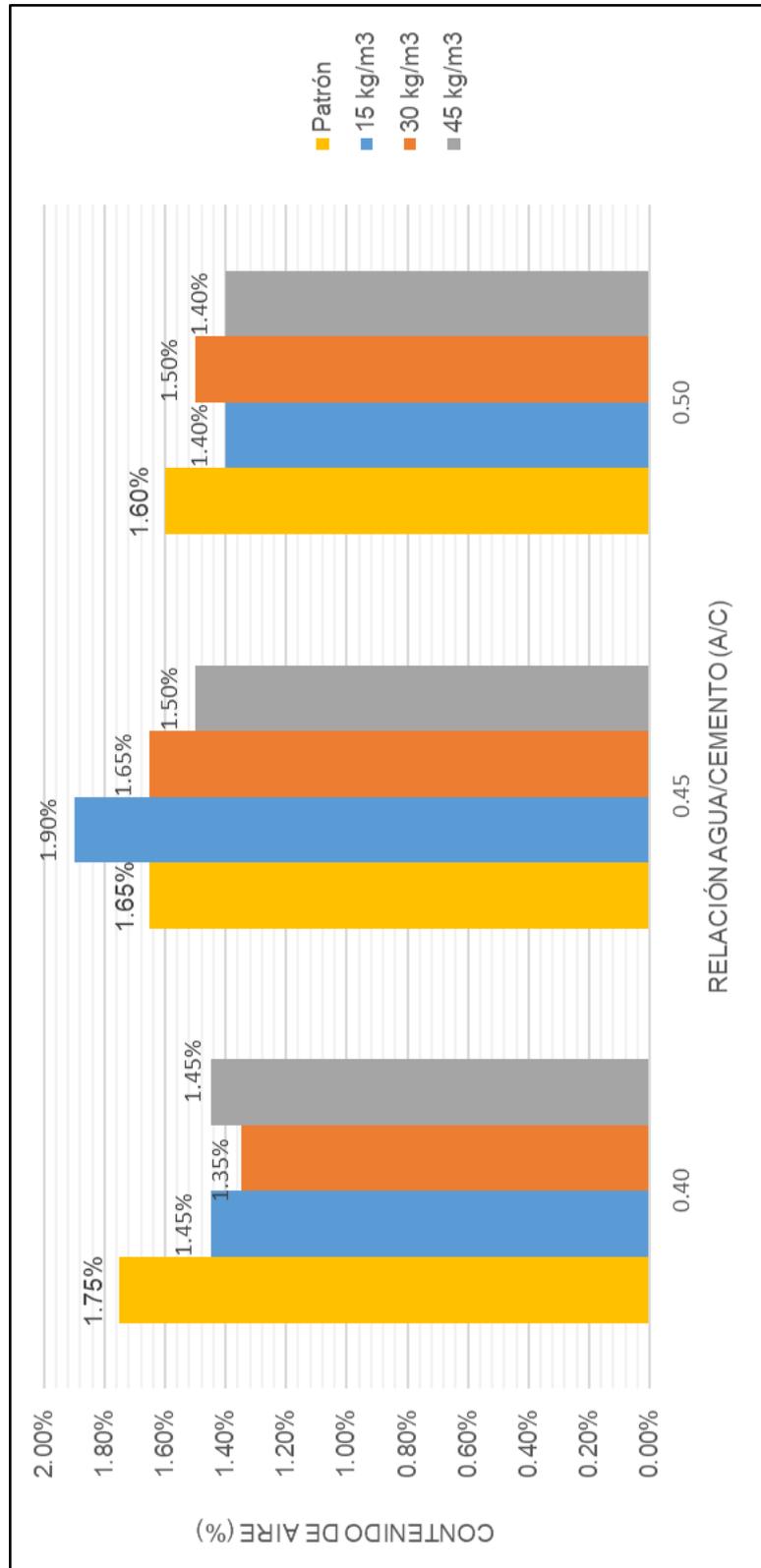


GRÁFICO 5.1.1.6: ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE vs RELACIÓN A/C



CUADRO 5.1.1: ENSAYO DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO (Cuadro Resumen)

Diseño de Mezcla	Asentamiento (pulg.)	Peso Unitario (kg/m ³)	Exudación (%)	Contenido de Aire (%)	Tiempo de Fraguado	
					Inicial (min)	Final (min)
a/c						
0.40	Dosificación					
	Patrón	4	0.50%	1.75%	200	256
	15 kg/m ³	3 3/4	1.22%	1.45%	198	270
0.45	30 kg/m ³	3 1/2	1.40%	1.35%	191	242
	45 kg/m ³	3	0.79%	1.45%	215	278
	Patrón	4	0.65%	1.65%	227	289
0.50	15 kg/m ³	3 3/4	1.27%	1.90%	202	274
	30 kg/m ³	3 1/2	1.42%	1.65%	190	241
	45 kg/m ³	3 1/2	1.25%	1.50%	215	288
0.50	Patrón	4	0.84%	1.60%	230	306
	15 kg/m ³	3 3/4	2.38%	1.40%	240	307
	30 kg/m ³	3 3/4	3.16%	1.50%	223	322
45 kg/m ³	3 1/2	2.29%	1.40%	224	296	

CAPÍTULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Los ensayos a los que fueron sometidas las mezclas de concreto fueron: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo elástico y resistencia a la flexión.

6.1 Ensayos al concreto en estado endurecido

6.1.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034 – ASTM C39)

A la resistencia mecánica del concreto también se le reconoce como la resistencia a la compresión, ya que presenta la condición de carga en la que el concreto recibe mayor capacidad para soportar esfuerzos. La resistencia a la compresión para una probeta de forma cilíndrica se calcula de la siguiente manera:

$$R_c = \frac{4}{\pi} \times \frac{G}{D^2}$$

Donde:

R_c: Resistencia a la rotura (kg/cm²)

G: Carga de rotura (kg)

D: Diámetro de la probeta (cm)

6.1.2 Resistencia a la tracción (NTP 339.084 – ASTM C496)

Las probetas que se utilizan para el ensayo de la resistencia a la tracción por compresión diametral, son de igual fabricación que las probetas usadas para el ensayo a compresión.

Por naturaleza el concreto es muy débil a los esfuerzos a tracción; también es difícil medir este esfuerzo debido a los problemas de agarre con las máquinas de prueba. Debido a la existencia de varios métodos que requieren una operación compleja se optó por el método de tracción por hendimiento o prueba brasileña, la cual consiste en romper la probeta de concreto entre los cabezales de una prensa, según generatrices opuestas.

La resistencia a la tracción para una probeta de forma cilíndrica se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \frac{2}{\pi} \times \frac{P}{D \times L}$$

Donde:

Q: Resistencia a la tracción (kg/cm²)

D: Diámetro de la probeta (cm)

P: Carga de rotura (kg)

L: Longitud de la probeta (cm)

6.1.3 Módulo elástico estático (ASTM C469-02)

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo-deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como módulo de elasticidad; la relación de esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparte de la recta y comienza ser curva. El límite de proporcionalidad para el módulo de elasticidad es del 40 % de la resistencia a la compresión y la deformación para este punto.

En el diseño de mezcla debe tenerse en cuenta que el módulo de elasticidad depende de los siguientes factores:

- La resistencia a la compresión del concreto
- De la tensión del trabajo
- De la forma y tiempo de curado del concreto
- Del grado de humedad

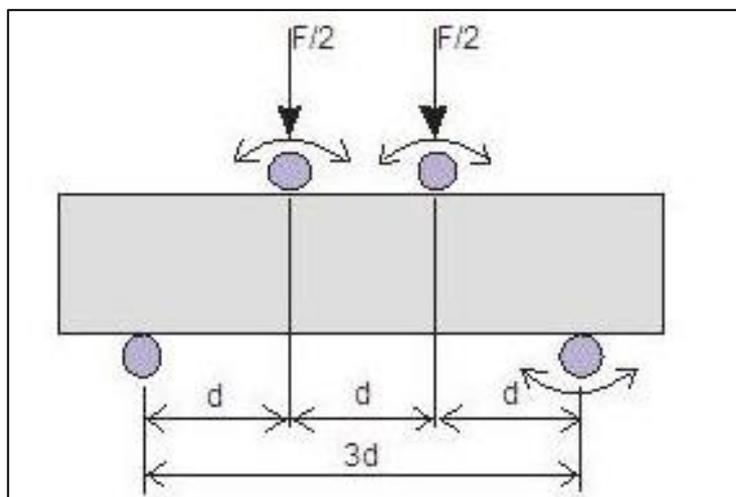
Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 25000 hasta 350000 kg/cm².

6.1.4 Resistencia a la flexión (NTP 339.078)

La resistencia a la flexión del concreto normalmente es referida al módulo de rotura, ya que es el esfuerzo a la tensión máxima teórica alcanzada en la fibra del fondo de una viga.

El valor del módulo de rotura depende de la viga y además de la posición de la carga. N este caso utilizaremos la carga simétrica en dos puntos sobre la viga (denominado carga a los tercios de la viga, ver **figura 6.1.1**); debido a que en este ensayo el diagrama de momentos que ocurre en la viga, es más próximo al de una carga repartida sobre la viga, a diferencia del diagrama de momentos que se genera en una viga cargada en el centro.

FIGURA 6.1.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN



Tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones de las vigas usadas para el ensayo de flexión son de 6"x6"x20".
- La viga debe ser colocada horizontalmente sobre los apoyos ubicados en el tercio de la viga.
- Si la fractura debido a la carga, ocurre dentro del tercio central de la viga, el módulo de rotura se calcula con la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde:

Mr: Módulo de rotura (kg/cm²)

b: Ancho promedio de la viga (cm)

P: Carga máxima (kg)

h: Altura promedio de la viga (cm)

L: Luz Libre (cm)

- De ocurrir el caso en el cual la fractura ocurra fuera del tercio central, la norma ASTM C78-84 permite la falla fuera de los puntos de carga, siempre y cuando ocurran a una distancia "a" del apoyo más cercano, y el módulo de rotura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{Pa}{bh^2}$$

- Sin embargo, si la ocurre en una sección igual a: $\left(\frac{L}{3} - a\right) > 0.05L$ entonces se debe descartar el ensayo.

6.1.5 Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido

Los resultados obtenidos por cada ensayo se detallan en los Anexos, estos corresponden a 4 diseños de mezclas diferentes por cada relación de agua cemento; siendo en total 12 diseños de mezcla diferentes.

CUADRO 6.1.1

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Cuadro Resumen)

Diseño de Mezcla		Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)			
		Edad (Días)			
a/c	Dosificación	7	14	28	42
0.40	Patrón	313.47	336.78	345.23	381.71
	15 kg/m ³	328.26	351.89	364.15	384.21
	30 kg/m ³	335.38	357.37	372.33	390.68
	45 kg/m ³	337.73	358.51	376.86	395.24
0.45	Patrón	305.87	321.54	348.57	365.08
	15 kg/m ³	319.99	339.91	359.82	379.24
	30 kg/m ³	322.16	345.31	365.27	384.25
	45 kg/m ³	326.47	340.32	365.27	390.55
0.50	Patrón	287.42	295.08	317.03	353.32
	15 kg/m ³	304.07	312.71	338.16	361.81
	30 kg/m ³	305.13	323.69	341.99	381.91
	45 kg/m ³	308.57	328.34	348.31	384.23

CUADRO 6.1.2
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR
COMPRESIÓN DIAMETRAL
(Cuadro Resumen)

Diseño de Mezcla		Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)
a/c	Dosificación	28 Días
0.40	Patrón	32.37
	15 kg/m ³	34.72
	30 kg/m ³	36.94
	45 kg/m ³	38.35
0.45	Patrón	32.43
	15 kg/m ³	35.91
	30 kg/m ³	35.79
	45 kg/m ³	36.74
0.50	Patrón	24.86
	15 kg/m ³	30.97
	30 kg/m ³	32.67
	45 kg/m ³	34.78

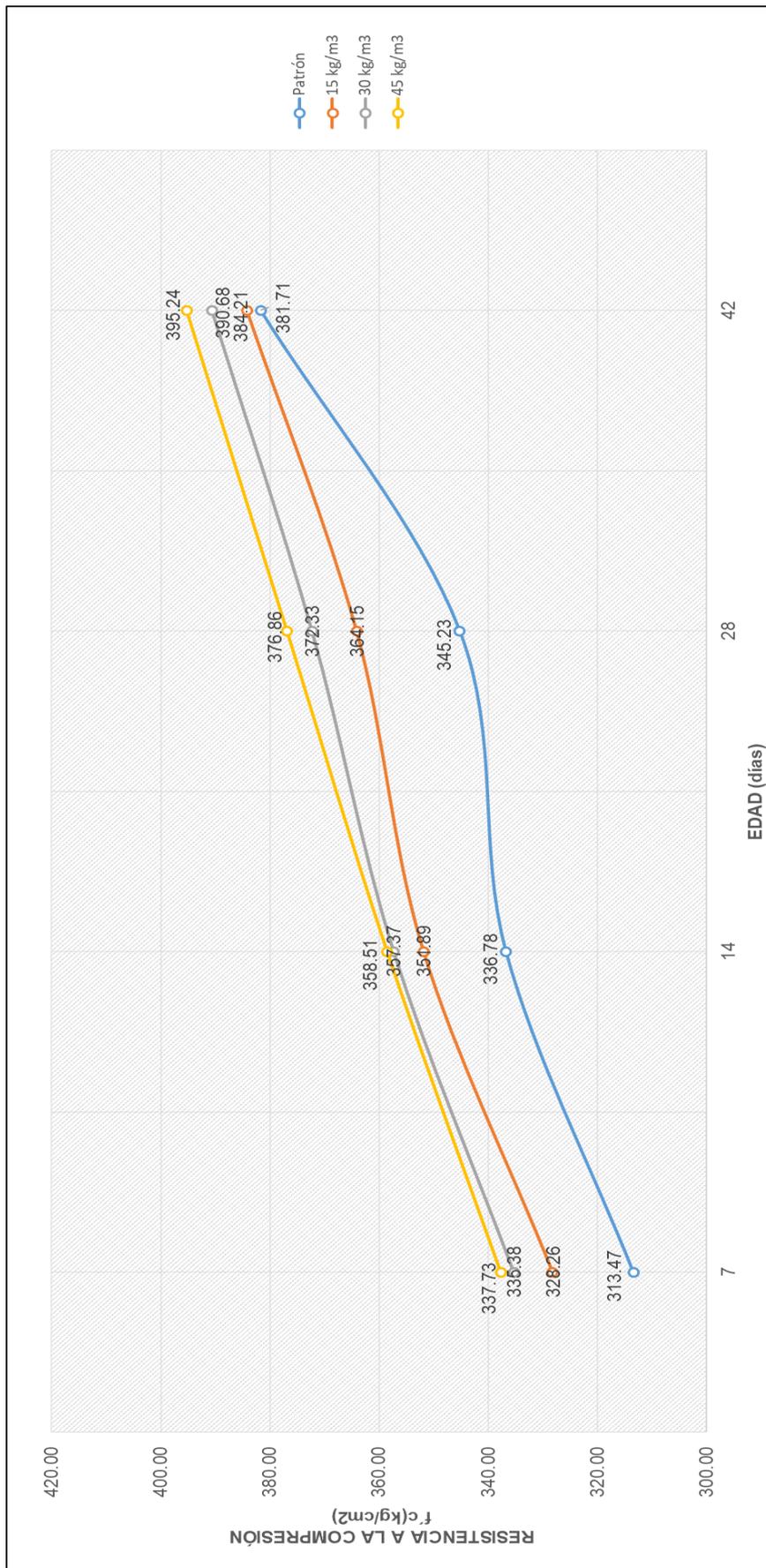
CUADRO 6.1.3
ENSAYO DE MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO (MEE)
(28 días)
(Cuadro Resumen)

Diseño de Mezcla		MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO (kg/cm ²)
a/c	Dosificación	
0.40	Patrón	288,068.78
	15 kg/m ³	298,002.08
	30 kg/m ³	301,660.78
	45 kg/m ³	304,416.20
0.45	Patrón	267,912.83
	15 kg/m ³	270,023.75
	30 kg/m ³	276,810.38
	45 kg/m ³	289,883.78
0.50	Patrón	265,700.75
	15 kg/m ³	270,245.73
	30 kg/m ³	284,529.08
	45 kg/m ³	288,778.68

CUADRO 6.1.4
ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGAS
(28 días)
(Cuadro Resumen)

Diseño de Mezcla		MÓDULO DE ROTURA (kg/cm ²)
a/c	Dosificación	28 Días
0.40	Patrón	64.05
	15 kg/m ³	64.83
	30 kg/m ³	67.89
	45 kg/m ³	69.35
0.45	Patrón	59.35
	15 kg/m ³	61.87
	30 kg/m ³	62.43
	45 kg/m ³	66.44
0.50	Patrón	52.86
	15 kg/m ³	58.86
	30 kg/m ³	59.72
	45 kg/m ³	64.38

GRÁFICO 6.1.1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
a/c=0.40



**GRÁFICO 6.1.2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 a/c=0.45**

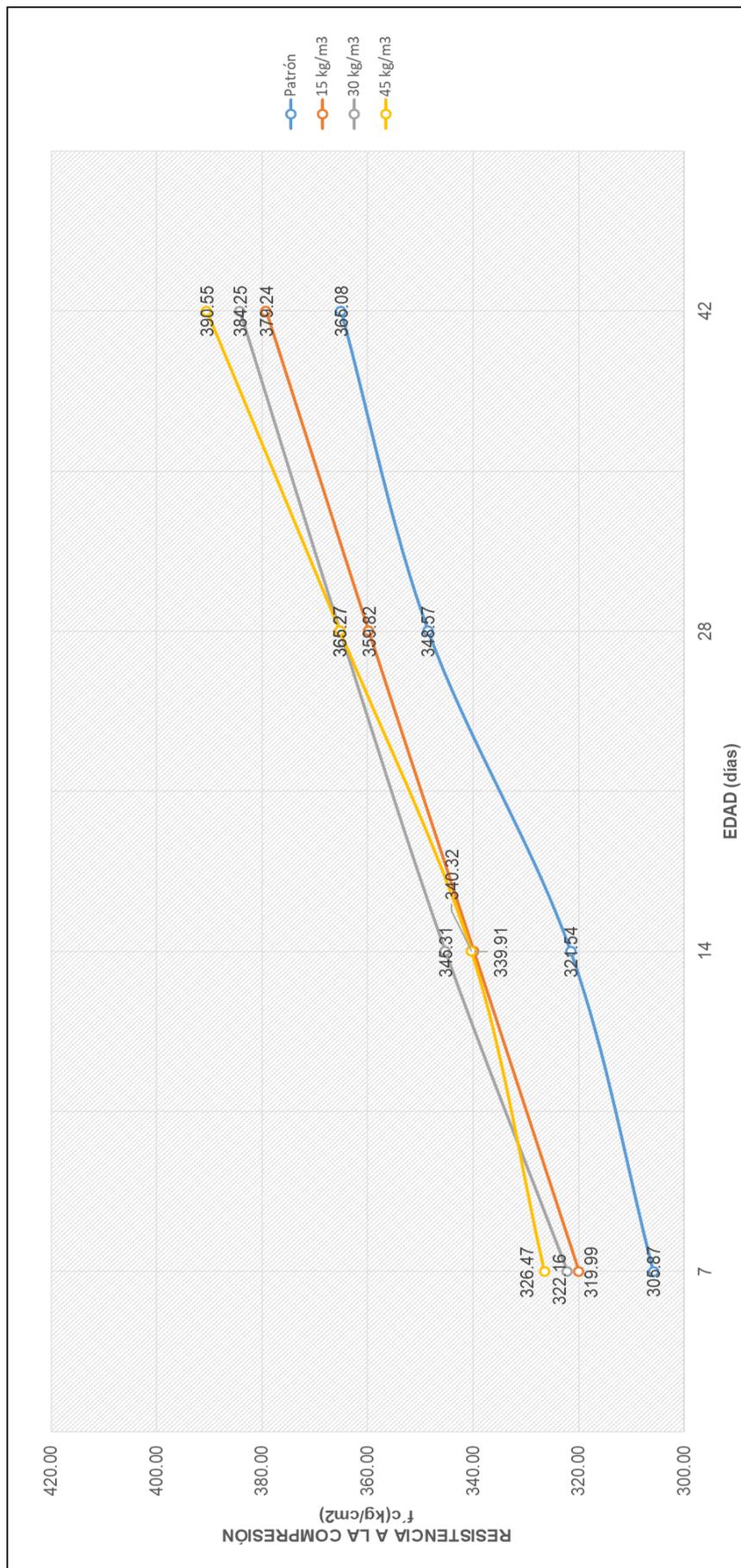


GRÁFICO 6.1.3: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
a/c=0.50

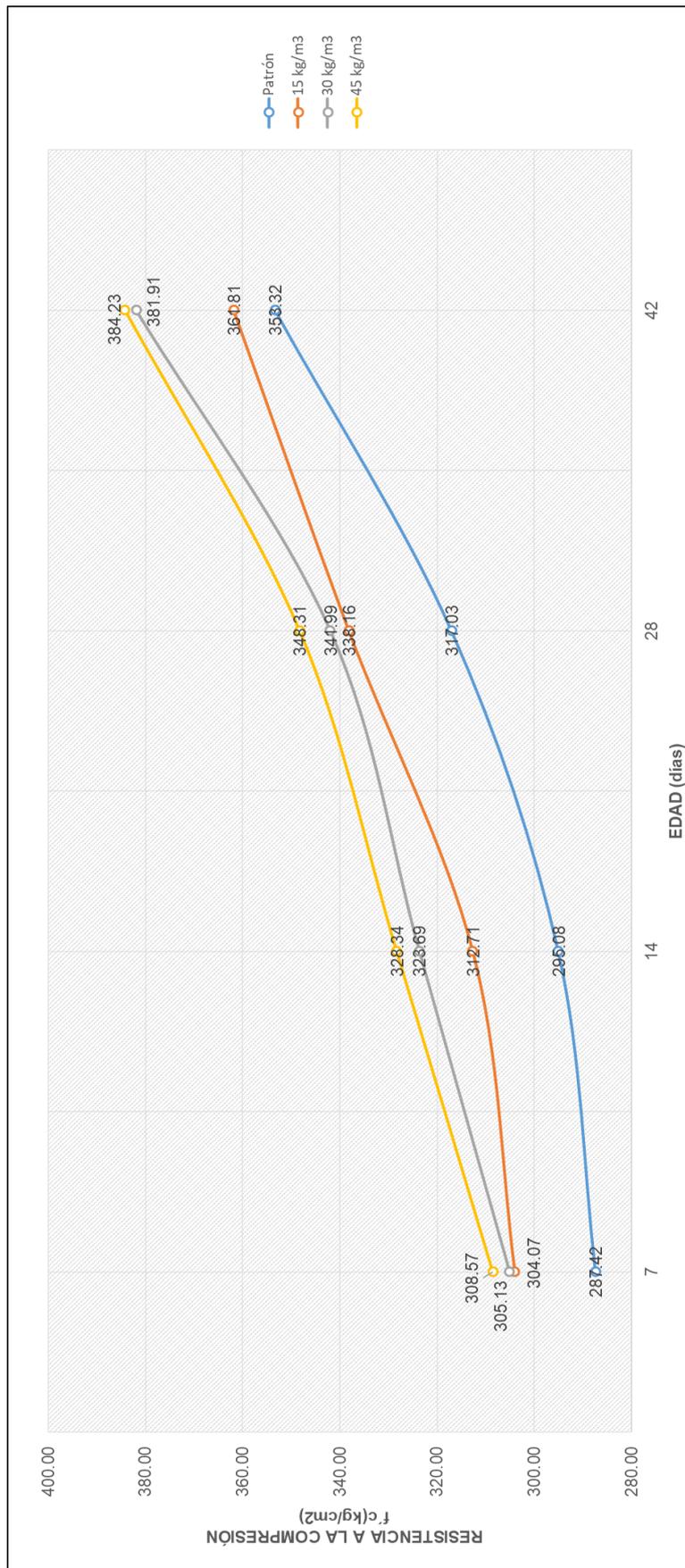
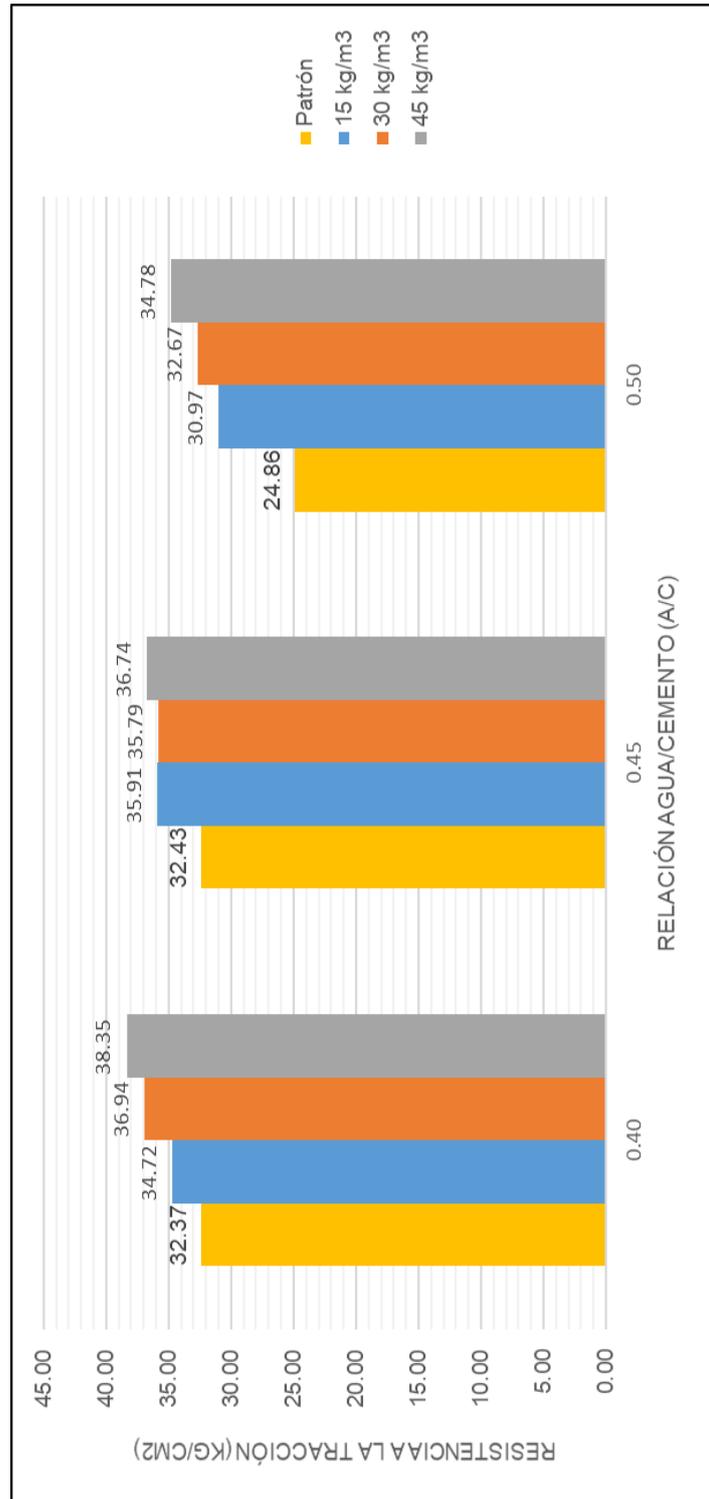


GRÁFICO 6.1.4: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL vs RELACIÓN A/C



**GRÁFICO 6.1.5: MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO VS
 RELACIÓN A/C**

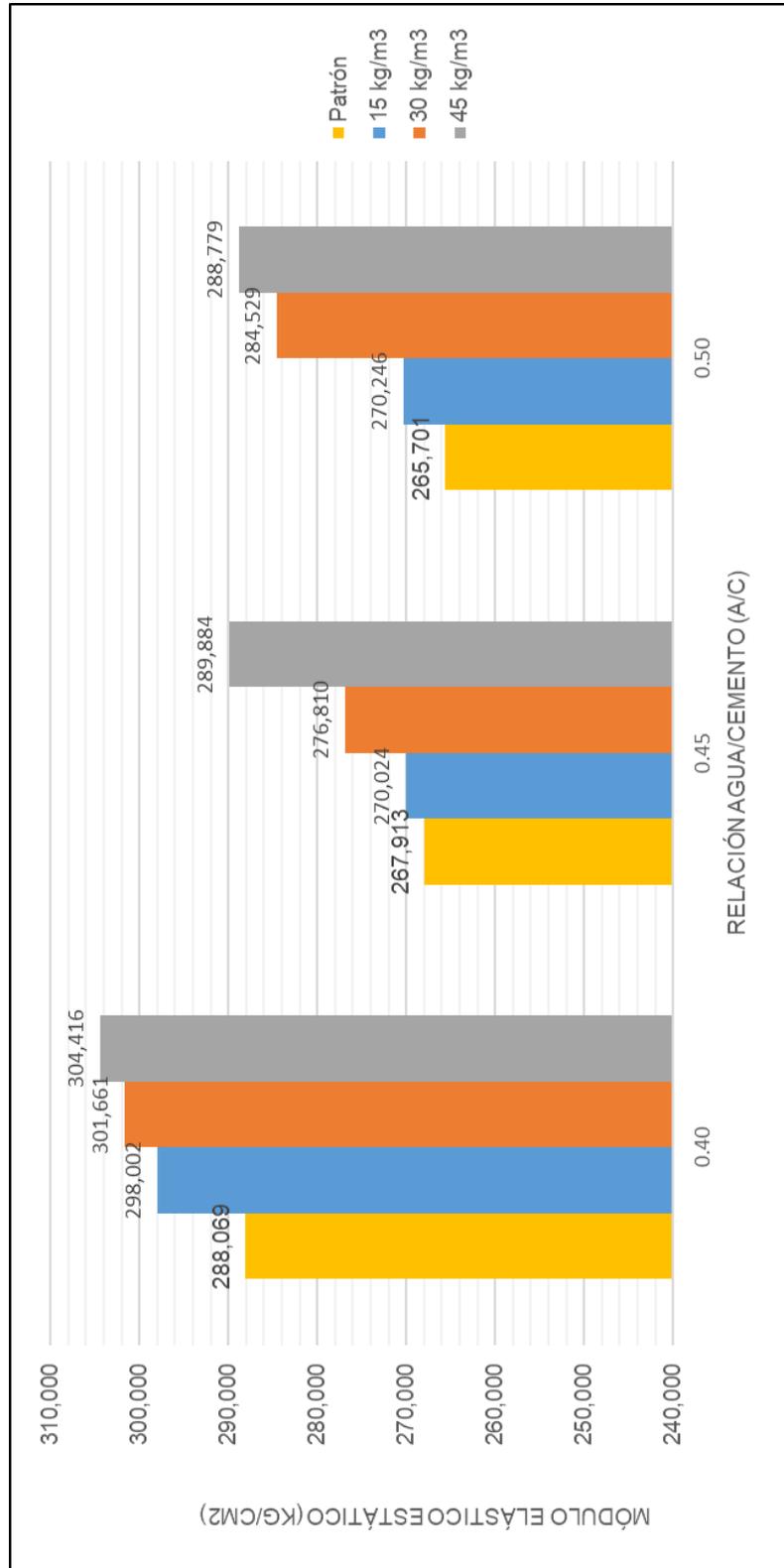
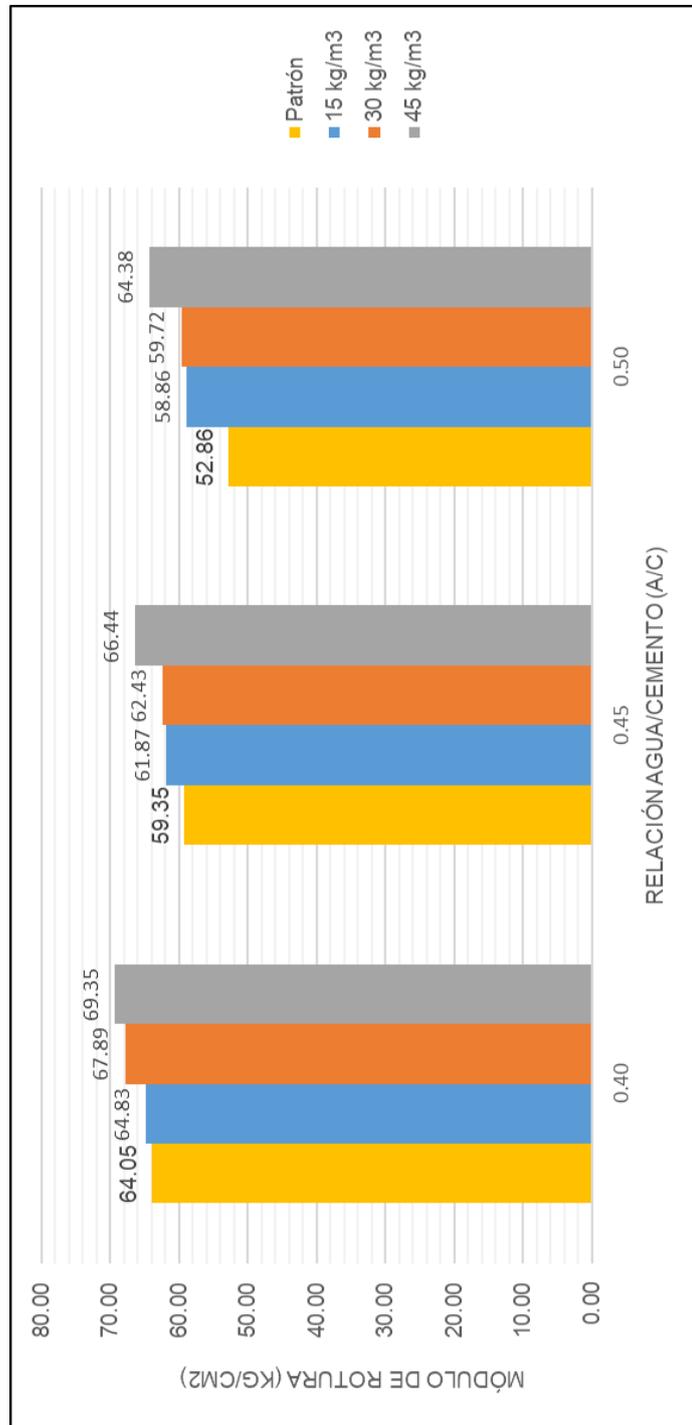


GRÁFICO 6.1.6: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS vs RELACIÓN A/C



CAPÍTULO VII: CUADROS COMPARATIVOS

7.1 Generalidades

Luego de determinar los resultados, realizaremos cuadros y gráficos comparativos de los diferentes ensayos realizados en la presente investigación, esto es para visualizar aumenta o disminuye las propiedades del concreto con la inclusión de las fibras metálicas. Para esto se considera como base al concreto patrón, o también conoció como el concreto normal (representará el 100%).

En este capítulo se mostrará las variaciones, en términos de porcentajes relativos respecto del concreto patrón, de cada uno de los ensayos realizados.

7.2 Cuadros y gráficos comparativos

7.2.1 Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado fresco

A continuación, se aprecia los gráficos y cuadros de los ensayos al concreto en estado fresco.

CUADRO 7.1.1: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN

Diseño de Mezcla a/c	Dosificación	ASENTAMIENTO (pulg.)	VARIACIÓN DEL ASENTAMIENTO (pulg.)	CONTENIDO DE AIRE (%)	VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE (%)
	0.40				
0.45	Patrón 15 kg/m ³ 30 kg/m ³ 45 kg/m ³	4 3 3/4 3 1/2 3 1/2	100.00% 93.75% 87.50% 87.50%	1.65% 1.90% 1.65% 1.50%	100.00% 115.15% 100.00% 90.91%
0.50	Patrón 15 kg/m ³ 30 kg/m ³ 45 kg/m ³	4 3 3/4 3 3/4 3 1/2	100.00% 93.75% 93.75% 87.50%	1.60% 1.40% 1.50% 1.40%	100.00% 87.50% 93.75% 87.50%

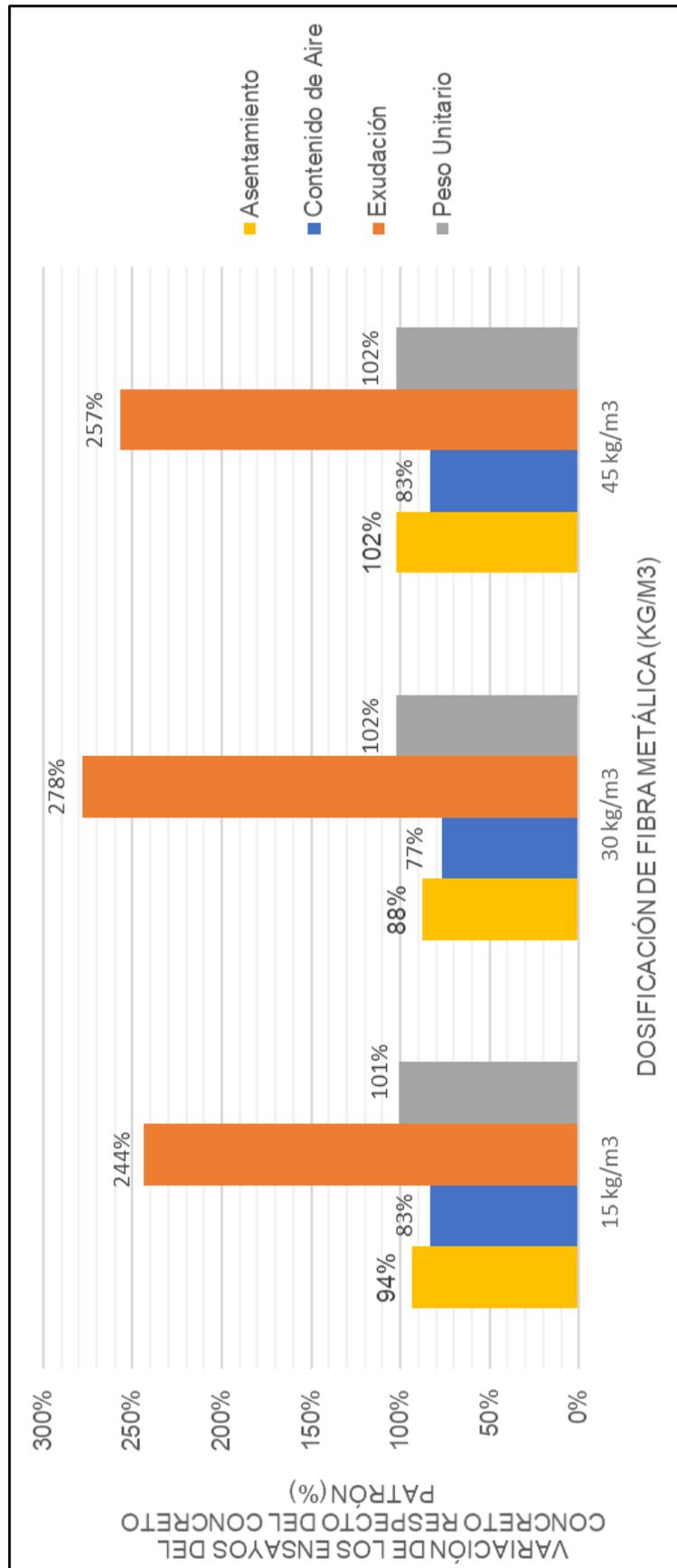
CUADRO 7.1.2
ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
ENSAYO DE PESO UNITARIO

Diseño de Mezcla		PESO UNITARIO (kg/m ³)	VARIACIÓN DEL PESO UNITARIO (kg/m ³)
a/c	Dosificación		
0.40	Patrón	2,340.57	100.00%
	15 kg/m ³	2,354.82	100.61%
	30 kg/m ³	2,387.87	102.02%
	45 kg/m ³	2,390.64	102.14%
0.45	Patrón	2,361.95	100.00%
	15 kg/m ³	2,367.08	100.22%
	30 kg/m ³	2,394.51	101.38%
	45 kg/m ³	2,403.02	101.74%
0.50	Patrón	2,371.33	100.00%
	15 kg/m ³	2,381.64	100.43%
	30 kg/m ³	2,402.76	101.33%
	45 kg/m ³	2,416.22	101.89%

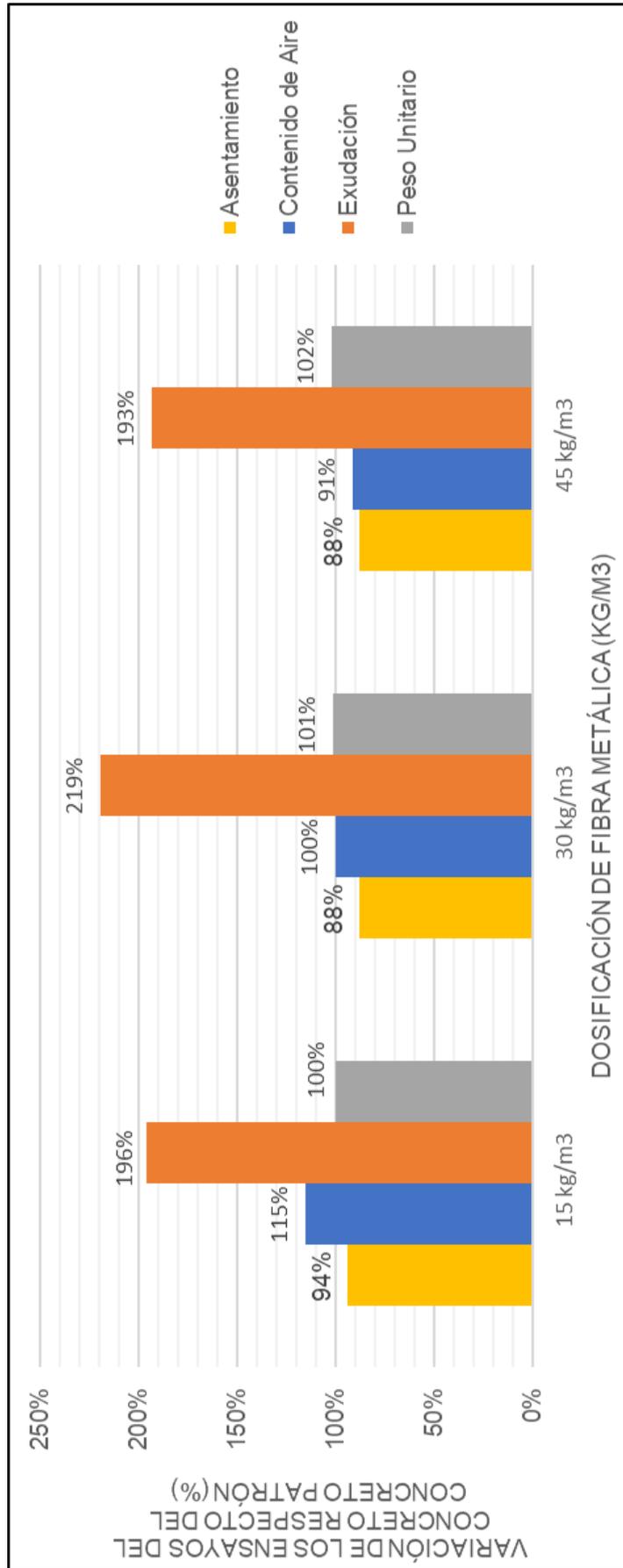
**CUADRO 7.1.3: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
ENSAYO DE EXUDACIÓN Y TIEMPO DE FRAGUA**

Diseño de Mezcla	EXUDACIÓN (%)	VARIACIÓN DE LA EXUDACIÓN (%)	T.F.I.		T.F.F.	
			T.F.I. (min)	VARIACIÓN (%)	T.F.F. (min)	VARIACIÓN (%)
a/c	Dosificación					
0.40	Patrón	0.50%	200	100.00%	256	100.00%
	15 kg/m ³	1.22%	198	99.00%	270	105.47%
	30 kg/m ³	1.40%	191	95.50%	242	94.53%
	45 kg/m ³	0.79%	215	107.50%	278	108.59%
0.45	Patrón	0.65%	227	100.00%	289	100.00%
	15 kg/m ³	1.27%	202	88.99%	274	94.81%
	30 kg/m ³	1.42%	190	83.70%	241	83.39%
	45 kg/m ³	1.25%	215	94.71%	288	99.65%
0.50	Patrón	0.84%	230	100.00%	306	100.00%
	15 kg/m ³	2.38%	240	104.35%	307	100.33%
	30 kg/m ³	3.16%	223	96.96%	322	105.23%
	45 kg/m ³	2.29%	224	97.39%	296	96.73%

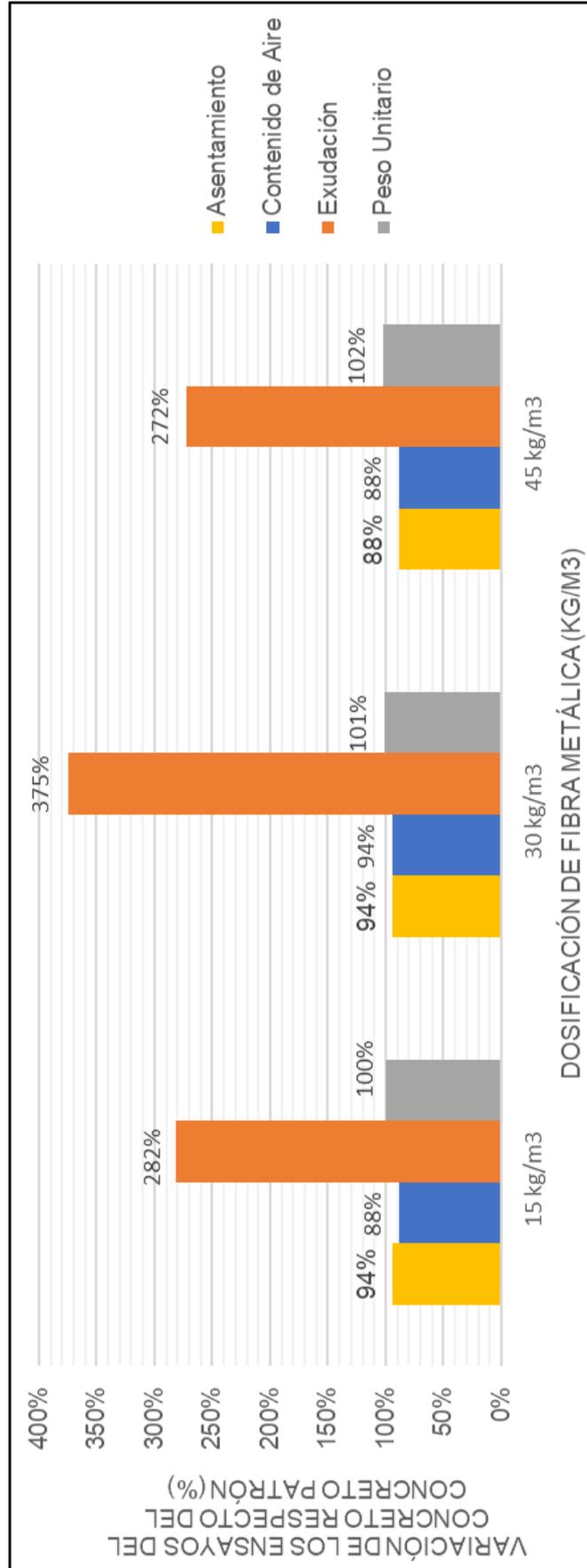
GRÁFICO 7.1.1: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRON vs CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA
 $a/c=0.40$



**GRÁFICO 7.1.2: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA
 $a/c=0.45$**



**GRÁFICO 7.1.3: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRON vs CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA
 $a/c=0.50$**



7.2.2 Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado endurecido

A continuación, se aprecia los gráficos y cuadros de los ensayos al concreto en estado endurecido.

CUADRO 7.2.1
ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Diseño de Mezcla		Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)			
		Edad (Días)			
a/c	Dosificación	7	14	28	42
0.40	Patrón	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	15 kg/m ³	104.72%	104.49%	105.48%	100.65%
	30 kg/m ³	106.99%	106.11%	107.85%	102.35%
	45 kg/m ³	107.74%	106.45%	109.16%	103.55%
0.45	Patrón	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	15 kg/m ³	104.62%	105.71%	103.23%	103.88%
	30 kg/m ³	105.33%	107.39%	104.79%	105.25%
	45 kg/m ³	106.74%	105.84%	104.79%	106.98%
0.50	Patrón	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	15 kg/m ³	105.79%	105.98%	106.66%	102.40%
	30 kg/m ³	106.16%	109.70%	107.87%	108.09%
	45 kg/m ³	107.36%	111.27%	109.86%	108.75%

CUADRO 7.2.2
ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Diseño de Mezcla		Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)			
		Edad (Días)			
a/c	Dosificación	7	14	28	42
0.40	Patrón	90.80%	97.55%	100.00%	110.56%
	15 kg/m ³	90.15%	96.63%	105.48%	105.51%
	30 kg/m ³	90.07%	95.98%	107.85%	104.93%
	45 kg/m ³	89.62%	95.13%	109.16%	104.88%
0.45	Patrón	87.75%	92.25%	100.00%	104.74%
	15 kg/m ³	88.93%	94.47%	103.23%	105.40%
	30 kg/m ³	88.20%	94.54%	104.79%	105.20%
	45 kg/m ³	89.38%	93.17%	104.79%	106.92%
0.50	Patrón	90.66%	93.07%	100.00%	111.45%
	15 kg/m ³	89.92%	92.47%	106.66%	107.00%
	30 kg/m ³	89.22%	94.65%	107.87%	111.67%
	45 kg/m ³	88.59%	94.27%	109.86%	110.32%

CUADRO 7.2.3
ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN
DIAMETRAL
(Edad 28 días)

Diseño de Mezcla		Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)	Variación de la Resistencia a la Tracción
a/c	Dosificación		
0.40	Patrón	32.37	100.00%
	15 kg/m ³	34.72	107.25%
	30 kg/m ³	36.94	114.12%
	45 kg/m ³	38.35	118.47%
0.45	Patrón	32.43	100.00%
	15 kg/m ³	35.91	110.74%
	30 kg/m ³	35.79	110.39%
	45 kg/m ³	36.74	113.31%
0.50	Patrón	24.86	100.00%
	15 kg/m ³	30.97	124.58%
	30 kg/m ³	32.67	131.40%
	45 kg/m ³	34.78	139.89%

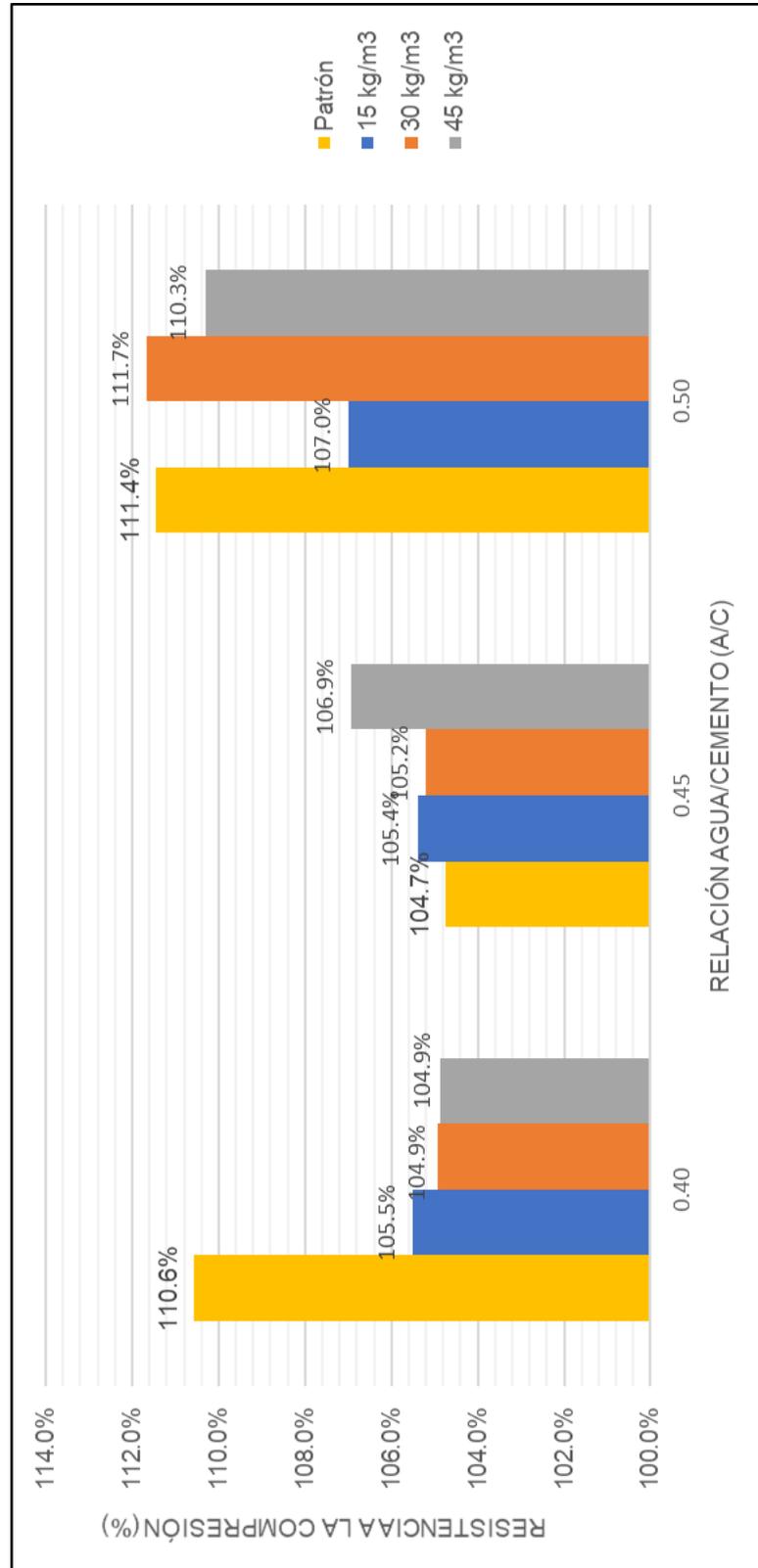
CUADRO 7.2.4
ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
(Edad 28 días)

Diseño de Mezcla		Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Variación del M. de Rotura (kg/cm ²)
a/c	Dosificación		
0.40	Patrón	64.05	100.00%
	15 kg/m ³	64.83	101.21%
	30 kg/m ³	67.89	105.99%
	45 kg/m ³	69.35	108.27%
0.45	Patrón	59.35	100.00%
	15 kg/m ³	61.87	104.24%
	30 kg/m ³	62.43	105.18%
	45 kg/m ³	66.44	111.94%
0.50	Patrón	52.86	100.00%
	15 kg/m ³	58.86	111.36%
	30 kg/m ³	59.72	112.99%
	45 kg/m ³	64.38	121.80%

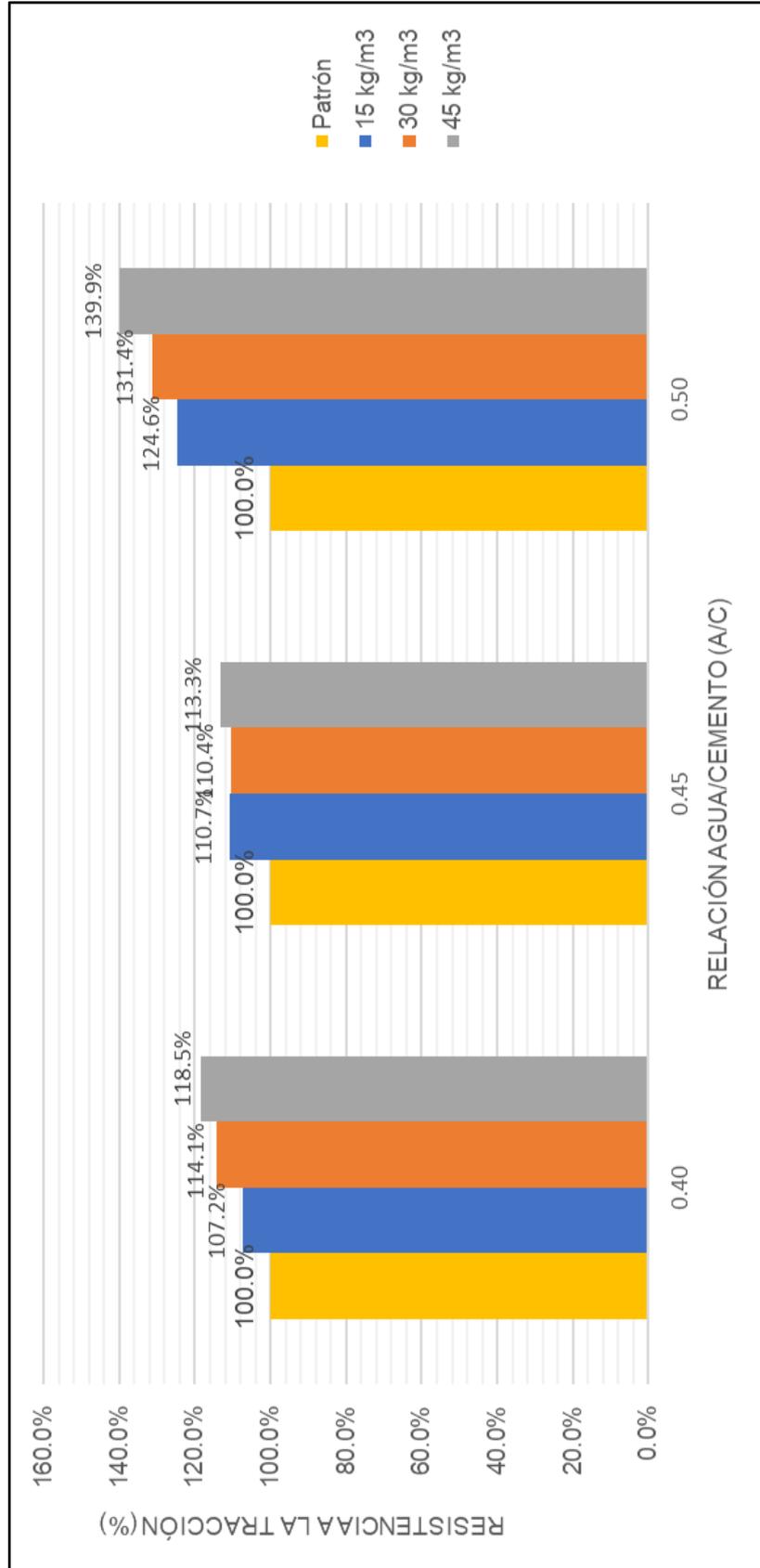
CUADRO 7.2.5
ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD
(Edad 28 días)

Diseño de Mezcla		Módulo Elástico Estático (kg/cm ²)	Variación del MEE (kg/cm ²)
a/c	Dosificación		
0.40	Patrón	288,068.78	100.00%
	15 kg/m ³	298,002.08	103.45%
	30 kg/m ³	301,660.78	104.72%
	45 kg/m ³	304,416.20	105.67%
0.45	Patrón	267,912.83	100.00%
	15 kg/m ³	270,023.75	100.79%
	30 kg/m ³	276,810.38	103.32%
	45 kg/m ³	289,883.78	108.20%
0.50	Patrón	265,700.75	100.00%
	15 kg/m ³	270,245.73	101.71%
	30 kg/m ³	284,529.08	107.09%
	45 kg/m ³	288,778.68	108.69%

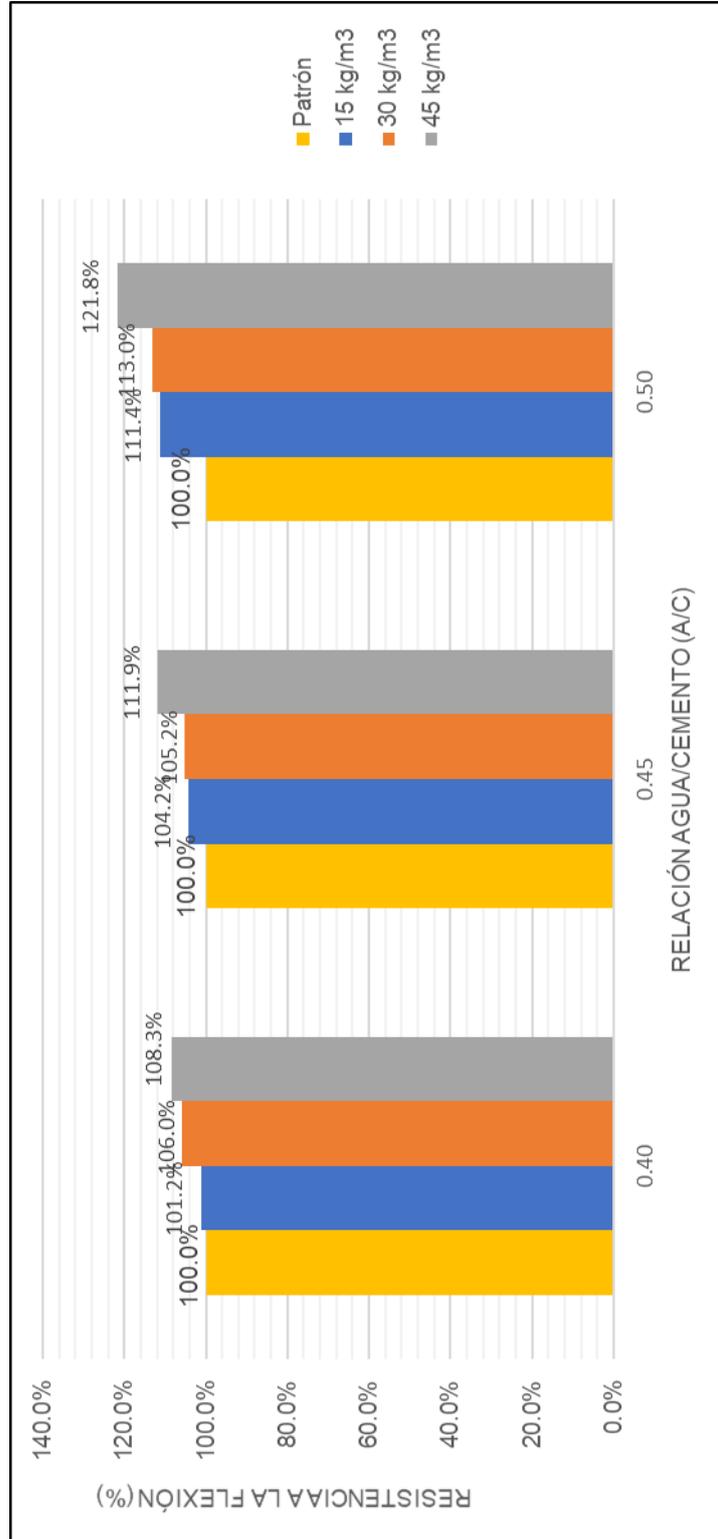
**GRÁFICO 7.2.1: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 (42 días)**



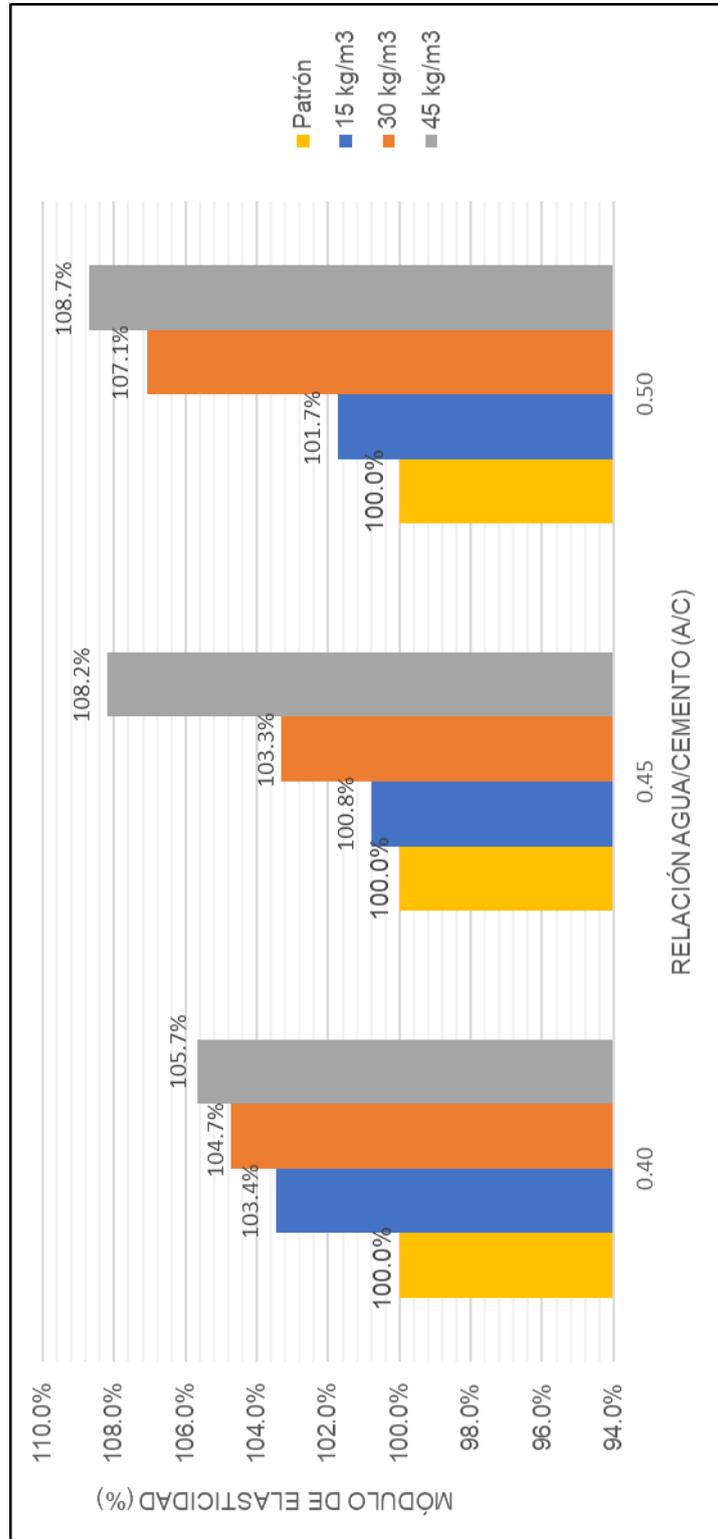
**GRÁFICO 7.2.2: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESÓ DIAMETRAL
 (28 días)**



**GRÁFICO 7.2.3: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
 (28 días)**



**GRÁFICO 7.2.4: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD
 (28 días)**



CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado fresco

Asentamiento

- 1) Del Cuadro 7.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, el asentamiento del concreto patrón fue de 4", este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los slump fueron $3 \frac{3}{4}$ ", $3 \frac{3}{2}$ " y 3", lo cual representa el 93.75%; 87.50% y 75.00% respectivamente del slump del concreto patrón.
- 2) Del cuadro 7.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.45$, el asentamiento del concreto patrón fue de 4", este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los slump fueron $3 \frac{3}{4}$ ", $3 \frac{3}{2}$ " y $3 \frac{1}{2}$ ", lo cual representa el 93.75%; 87.50% y 87.50% respectivamente del slump del concreto patrón.
- 3) Del cuadro 7.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.50$, el asentamiento del concreto patrón fue de 4", este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los slump fueron $3 \frac{3}{4}$ ", $3 \frac{3}{4}$ " y $3 \frac{1}{2}$ ", lo cual representa el 93.75%; 93.75% y 87.50% respectivamente del slump del concreto patrón.

Se puede observar que en todas las relaciones a/c que se utilizaron obtenemos un asentamiento que se encuentra dentro del rango de 3" a 4", es decir se ha utilizado mezclas de consistencia plástica (trabajable)

Contenido de aire

- 1) Del Cuadro 7.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, el contenido de aire del concreto patrón fue de 1.75%, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los contenidos de aire fueron 1.45%; 1.35% y 1.45%, lo cual representa el 83%; 77% y 83% respectivamente del contenido de aire del concreto patrón.

- 2) Del cuadro 7.1.1 observamos que para la relación $a/c = 0.45$, el contenido de aire del concreto patrón fue de 1.65%, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c = 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los contenidos de aire fueron 1.90%; 1.65% y 1.50%, lo cual representa el 115%; 100% y 91% respectivamente del contenido de aire del concreto patrón.
- 3) Del cuadro 7.1.1 observamos que para la relación $a/c = 0.50$, el contenido de aire del concreto patrón fue de 1.60%, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c = 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los contenidos de aire fueron 1.40%; 1.50% y 1.40%, lo cual representa el 88%; 94% y 88% respectivamente del contenido de aire del concreto patrón.

Peso Unitario

- 1) Del Cuadro 7.1.2 observamos que para la relación $a/c = 0.40$, el peso unitario del concreto patrón fue de 2340.57 kg/cm^2 , este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c = 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los pesos unitarios fueron 2354.82 kg/cm^2 ; 2387.87 kg/cm^2 y 2390.64 kg/cm^2 , lo cual representa el 100.61%; 102.01% y 102.14% respectivamente del peso unitario del concreto patrón.
- 2) Del cuadro 7.1.2 observamos que para la relación $a/c = 0.45$, el peso unitario del concreto patrón fue de 2361.95 kg/cm^2 , este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c = 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los pesos unitarios fueron 2367.08 kg/cm^2 ; 2394.51 kg/cm^2 y 2403.02 kg/cm^2 , lo cual representa el 100.22%; 101.38% y 101.74% respectivamente del peso unitario del concreto patrón.
- 3) Del cuadro 7.1.2 observamos que para la relación $a/c = 0.50$, el peso unitario del concreto patrón fue de 2371.33 kg/cm^2 , este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c = 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los pesos unitarios fueron 2381.64 kg/cm^2 ; 2402.76 kg/cm^2 y

2416.22 kg/cm², lo cual representa el 100.43%; 101.33% y 101.89% respectivamente del peso unitario del concreto patrón.

Exudación

- 1) Del Cuadro 7.1.3 observamos que para la relación a/c= 0.40, la exudación del concreto patrón fue de 0.50%, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación a/c= 0.40, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, las exudaciones fueron 1.22%; 1.40% y 0.79%, lo cual representa el 243.60%; 278.05% y 157.34% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
- 2) Del cuadro 7.1.3 observamos que para la relación a/c= 0.45, la exudación del concreto patrón fue de 0.65%, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación a/c= 0.45, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, las exudaciones fueron 1.27%; 1.42% y 1.25%, lo cual representa el 195.92%; 218.85% y 192.76% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
- 3) Del cuadro 7.1.3 observamos que para la relación a/c= 0.50, la exudación del concreto patrón fue de 0.84%, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación a/c= 0.50, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, las exudaciones fueron 2.38%; 3.16% y 2.29%, lo cual representa el 282.09%; 375.29% y 272.18% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

Tiempo de Fragua Inicial

- 1) Del Cuadro 7.1.3 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, el tiempo de fragua inicial del concreto patrón fue de 200 minutos, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los tiempos de fragua inicial fueron 198 minutos, 191 minutos y 215 minutos, lo cual representa el 99.00%; 95.50% y 107.50% respectivamente del tiempo de fragua inicial del concreto patrón.
- 2) Del cuadro 7.1.3 observamos que para la relación $a/c= 0.45$, el tiempo de fragua inicial del concreto patrón fue de 227 minutos, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los tiempos de fragua inicial fueron 202 minutos, 190 minutos y 215 minutos lo cual representa el 88.99%; 83.70% y 94.71% respectivamente del tiempo de fragua inicial del concreto patrón.
- 3) Del cuadro 7.1.3 observamos que para la relación $a/c= 0.50$, el tiempo de fragua inicial del concreto patrón fue de 230 minutos, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los tiempos de fragua inicial fueron 240 minutos, 223 minutos y 224 minutos, lo cual representa el 104.35%; 96.96% y 97.39% respectivamente del tiempo de fragua inicial del concreto patrón.

Tiempo de Fragua Final

- 1) Del Cuadro 7.1.3 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, el tiempo de fragua final del concreto patrón fue de 256 minutos, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
 - Para la relación $a/c= 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los tiempos de fragua final fueron 270 minutos, 242 minutos y 278 minutos, lo cual representa el 105.47%; 94.53% y 108.59% respectivamente del tiempo de fragua final del concreto patrón.
- 2) Del cuadro 7.1.3 observamos que para la relación $a/c= 0.45$, el tiempo de fragua final del concreto patrón fue de 289 minutos, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.

- Para la relación $a/c= 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los tiempos de fragua final fueron 274 minutos, 241 minutos y 288 minutos lo cual representa el 94.81%; 83.39% y 99.65% respectivamente del tiempo de fragua final del concreto patrón.
- 3) Del cuadro 7.1.3 observamos que para la relación $a/c= 0.50$, el tiempo de fragua final del concreto patrón fue de 306 minutos, este valor tomaremos como el 100% para nuestra referencia.
- Para la relación $a/c= 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , los tiempos de fragua final fueron 307 minutos, 322 minutos y 296 minutos, lo cual representa el 100.33%; 105.23% y 96.73% respectivamente del tiempo de fragua final del concreto patrón.

8.2 Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado endurecido

Ensayo de Resistencia a la Compresión

Haremos un análisis del concreto patrón para tomar como referencia sobre los concretos con las fibras metálicas en sus diferentes dosificaciones.

Concreto Patrón

- 1) Del Cuadro 6.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 07 días fue de 313.47 kg/cm^2 , a los 14 días fue de 336.78 kg/cm^2 , a los 28 días fue de 345.23 kg/cm^2 y a los 42 días fue de 381.71 kg/cm^2 .
- 2) Del Cuadro 6.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.45$, la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 07 días fue de 305.87 kg/cm^2 , a los 14 días fue de 321.54 kg/cm^2 , a los 28 días fue de 348.57 kg/cm^2 y a los 42 días fue de 365.08 kg/cm^2 .
- 3) Del Cuadro 6.1.1 observamos que para la relación $a/c= 0.50$, la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 07 días fue de 287.42 kg/cm^2 , a los 14 días fue de 295.08 kg/cm^2 , a los 28 días fue de 317.03 kg/cm^2 y a los 42 días fue de 353.32 kg/cm^2 .

Concreto con Fibras Metálicas- relación a/c= 0.40

De los cuadros 6.1.1 y 7.2.1 se tiene lo siguiente:

- 1) Para los 07 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la compresión fue de 328.26 kg/cm²; 335.38 kg/cm² y 337.73 kg/cm², lo cual representa el 104.62%; 106.99% y 107.74% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (313.47 kg/cm² que representa el 100%)
- 2) Para los 14 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la compresión fue de 351.89 kg/cm²; 357.37 kg/cm² y 358.51 kg/cm², lo cual representa el 104.49%; 106.11% y 106.45% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (336.78 kg/cm² que representa el 100%)
- 3) Para los 28 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la compresión fue de 364.15 kg/cm²; 372.33 kg/cm² y 376.86 kg/cm², lo cual representa el 105.48%; 107.85% y 109.16% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (345.23 kg/cm² que representa el 100%)
- 4) Para los 42 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la compresión fue de 384.21 kg/cm²; 390.68 kg/cm² y 395.24 kg/cm², lo cual representa el 100.65%; 102.35% y 103.55% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (381.71 kg/cm² que representa el 100%)

Se adiciona un análisis comparando las resistencias a la compresión respecto a los 28 días de cada relación agua cemento, entonces del Cuadro 7.2.2 obtenemos lo siguiente:

- 1) Para las diferentes dosificaciones de la fibra, se tiene lo siguiente:
 - Con 15 kg/m³ la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 90.15%; 96.63% y 105.51%.
 - Con 30 kg/m³ la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 90.07%; 95.98% y 104.93%.

- Con 45 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 89.62%; 95.13% y 104.88%.

Concreto con Fibras Metálicas- relación a/c= 0.45

De los cuadros 6.1.1 y 7.2.1 se tiene lo siguiente:

- 1) Para los 07 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 319.99 kg/cm^2 ; 322.16 kg/cm^2 y 326.47 kg/cm^2 , lo cual representa el 104.62%; 105.33% y 106.74% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (305.87 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 2) Para los 14 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 339.91 kg/cm^2 ; 345.31 kg/cm^2 y 340.32 kg/cm^2 , lo cual representa el 105.71%; 107.39% y 105.84% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (321.54 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 3) Para los 28 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 359.82 kg/cm^2 ; 365.27 kg/cm^2 y 365.27 kg/cm^2 , lo cual representa el 103.23%; 104.79% y 104.79% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (348.57 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 4) Para los 42 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 379.24 kg/cm^2 ; 384.25 kg/cm^2 y 390.55 kg/cm^2 , lo cual representa el 103.88%; 105.25% y 106.98% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (365.08 kg/cm^2 que representa el 100%)

Se adiciona un análisis comparando las resistencias a la compresión respecto a los 28 días de cada relación agua cemento, entonces del Cuadro 7.2.2 obtenemos lo siguiente:

- 1) Para las diferentes dosificaciones de la fibra, se tiene lo siguiente:
 - Con 15 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 88.93%; 94.47% y 105.40%.
 - Con 30 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 88.20%; 94.54% y 105.20%.
 - Con 45 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 89.38%; 93.17% y 111.45%.

Concreto con Fibras Metálicas- relación a/c= 0.50

De los cuadros 6.1.1 y 7.2.1 se tiene lo siguiente:

- 1) Para los 07 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 304.07 kg/cm^2 ; 305.13 kg/cm^2 y 308.57 kg/cm^2 , lo cual representa el 105.79%; 106.16% y 107.36% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (287.42 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 2) Para los 14 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 312.71 kg/cm^2 ; 323.69 kg/cm^2 y 328.34 kg/cm^2 , lo cual representa el 105.98%; 109.70% y 111.27% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (295.08 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 3) Para los 28 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 338.16 kg/cm^2 ; 341.99 kg/cm^2 y 348.31 kg/cm^2 , lo cual representa el 106.66%; 107.87% y 109.86% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (317.03 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 4) Para los 42 días:
 - Con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la compresión fue de 361.81 kg/cm^2 ; 381.91 kg/cm^2 y 384.23 kg/cm^2 , lo cual representa el 102.40%; 108.09% y 108.75% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (353.32 kg/cm^2 que representa el 100%)

Se adiciona un análisis comparando las resistencias a la compresión respecto a los 28 días de cada relación agua cemento, entonces del Cuadro 7.2.2 obtenemos lo siguiente:

- 1) Para las diferentes dosificaciones de la fibra, se tiene lo siguiente:
 - Con 15 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 89.92%; 92.47% y 107.00%.
 - Con 30 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 89.22%; 94.65% y 111.67%.
 - Con 45 kg/m^3 la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varían en 88.59%; 94.27% y 110.32%.

Ensayo de la Resistencia a la tracción por Compresión Diametral

Haremos un análisis del concreto patrón para tomar como referencia sobre los concretos con las fibras metálicas en sus diferentes dosificaciones.

Concreto Patrón

- 1) Del Cuadro 7.2.3 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, $a/c= 0.45$ y $a/c= 0.50$ a los 28 días se obtuvo una resistencia a la tracción por compresión diametral de 32.37 kg/cm^2 ; 32.43 kg/cm^2 y 24.86 kg/cm^2 , respectivamente, estos valores tomaremos como el 100% para nuestra referencia.

Concreto con Fibras Metálicas

- 1) Del Cuadro 7.2.3 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de 34.72 kg/cm^2 ; 36.94 kg/cm^2 y 38.35 kg/cm^2 , los cuales representan el 107.25%; 114.12% y 118.47% respectivamente de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón (32.37 kg/cm^2 que representa el 100%)
- 2) Del Cuadro 7.2.3 observamos que para la relación $a/c= 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 45 kg/m^3 , la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de 35.91 kg/cm^2 ; 35.79 kg/cm^2 y 36.74 kg/cm^2 , los cuales representan el 110.74%; 110.39% y 113.31%

respectivamente de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón (32.43 kg/cm² que representa el 100%)

- 3) Del Cuadro 7.2.3 observamos que para la relación $a/c = 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de 30.97 kg/cm²; 32.67 kg/cm² y 34.78 kg/cm², los cuales representan el 124.58%; 131.40% y 139.89% respectivamente de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón (24.86 kg/cm² que representa el 100%)

Ensayo de Resistencia a la Flexión

Haremos un análisis del concreto patrón para tomar como referencia sobre los concretos con las fibras metálicas en sus diferentes dosificaciones.

Concreto Patrón

- 1) Del Cuadro 7.2.4 observamos que para la relación $a/c = 0.40$, $a/c = 0.45$ y $a/c = 0.50$ a los 28 días se obtuvo una resistencia a la flexión de 64.05 kg/cm²; 59.35 kg/cm² y 52.86 kg/cm², respectivamente, estos valores tomaremos como el 100% para nuestra referencia.

Concreto con Fibras Metálicas

- 1) Del Cuadro 7.2.4 observamos que para la relación $a/c = 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la flexión fue de 64.83 kg/cm²; 67.89 kg/cm² y 69.35 kg/cm², los cuales representan el 101.21%; 105.99% y 108.27% respectivamente de la resistencia a la flexión del concreto patrón (64.05 kg/cm² que representa el 100%)
- 2) Del Cuadro 7.2.3 observamos que para la relación $a/c = 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la flexión fue de 61.87 kg/cm²; 62.43 kg/cm² y 66.44 kg/cm², los cuales representan el 104.24%; 105.18% y 111.94% respectivamente de la resistencia a la flexión del concreto patrón (59.35 kg/cm² que representa el 100%)
- 3) Del Cuadro 7.2.3 observamos que para la relación $a/c = 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, la resistencia a la flexión fue de 58.86 kg/cm²; 59.72 kg/cm² y 64.38 kg/cm², los cuales representan el 111.36%; 112.99% y 121.80% respectivamente de la

resistencia a la flexión del concreto patrón (52.86 kg/cm² que representa el 100%)

Ensayo de Módulo Elástico Estático

Haremos un análisis del concreto patrón para tomar como referencia sobre los concretos con las fibras metálicas en sus diferentes dosificaciones.

Concreto Patrón

- 2) Del Cuadro 7.2.5 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, $a/c= 0.45$ y $a/c= 0.50$ a los 28 días se obtuvo el Módulo Elástico Estático de 288068.78 kg/cm²; 267912.83 kg/cm² y 265700.75 kg/cm², respectivamente, estos valores tomaremos como el 100% para nuestra referencia.

Concreto con Fibras Metálicas

- 4) Del Cuadro 7.2.5 observamos que para la relación $a/c= 0.40$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, el Módulo Elástico Estático fue de 298002.08 kg/cm²; 301660.78 kg/cm² y 304416.20 kg/cm², los cuales representan el 103.45%; 104.72% y 105.67% respectivamente del Módulo de Elasticidad del concreto patrón (288068.78 kg/cm² que representa el 100%)
- 5) Del Cuadro 7.2.5 observamos que para la relación $a/c= 0.45$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, el Módulo Elástico Estático fue de 270023.75 kg/cm²; 276810.38 kg/cm² y 289883.78 kg/cm², los cuales representan el 100.79%; 103.32% y 108.20% respectivamente del Módulo de Elasticidad del concreto patrón (267912.83 kg/cm² que representa el 100%)
- 6) Del Cuadro 7.2.5 observamos que para la relación $a/c= 0.50$, con dosificación de la fibra de 15 kg/m³, 30 kg/m³ y 45 kg/m³, el Módulo Elástico Estático fue de 280245.73 kg/cm²; 284529.08 kg/cm² y 288778.68 kg/cm², los cuales representan el 101.71%; 107.09% y 108.69% respectivamente de la resistencia a la flexión del concreto patrón (265700.75 kg/cm² que representa el 100%)

CONCLUSIONES

Las conclusiones que arroja esta investigación son basadas según los objetivos del plan de tesis, que en primera instancia fue el de comparar a un concreto patrón con otros con fibras de acero, tanto en estado fresco y endurecido. Estos ensayos son para las relaciones de agua y cemento de 0.40; 0.45 y 0.50, para cada uno de ellos se incorporaron 03 dosificaciones de la fibra de acero que son: 15 kg/m³; 30 kg/m³ y 45 kg/m³. Se usó la fibra de acero que se encuentra en el mercado nacional SIKA FIBER CHO 80/60 NB.

1. El asentamiento del concreto a medida que aumenta relación agua y cemento, también lo hace el asentamiento en ¼" en promedio. Sin embargo, cuando aumentamos la dosificación de la fibra de acero el asentamiento disminuye en ½" en promedio; esto sucede para cualquier relación de agua y cemento.
2. El contenido de aire del concreto en todas las relaciones de agua y cemento a medida que se va incrementando la dosificación de la fibra de acero disminuye con respecto al concreto patrón. esto sucede para cualquier relación de agua y cemento.
3. La exudación del concreto aumenta a mayor dosificación de la fibra de acero, cabe resaltar que en la dosificación de fibra de acero de 30 kg/m³ sucede la mayor exudación del concreto; esto sucede para cualquier relación de agua y cemento.
4. El tiempo de fraguado inicial del concreto con fibras de acero disminuye en 5% aproximadamente, sin embargo, se verifica que existe un ligero incremento en el tiempo de fraguado inicial con la dosificación de fibra de acero de 45 kg/m³ con respecto a las dosificaciones de 15 kg/m³ y 30 kg/m³.
5. El tiempo de fraguado final del concreto con fibra de acero aumenta en 5% aproximadamente para la relación de agua y cemento 0.40, sin embargo, para la relación de agua y cemento 0.45 el tiempo de fraguado final disminuye en 6% aproximadamente. Para la relación de agua y cemento 0.50 el tiempo de fraguado final aumenta en 5% aproximadamente.
6. La resistencia a la compresión del concreto que se obtuvieron a los 7; 14; 28 y 42 días, en la mayor dosificación de la fibra de acero de 45 kg/m³

- aumenta en 7% en promedio, esto se verifica para todas las relaciones de agua y cemento.
7. La resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con mayor dosificación de fibra de acero de 45 kg/m^3 aumenta en 23% en promedio, esto se verifica para todas las relaciones de agua y cemento. Po lo tanto podemos indicar que a mayor dosificación de la fibra de acero se obtiene mayor resistencia a la tracción del concreto.
 8. La resistencia a la flexión del concreto con mayor dosificación de fibra de acero de 45 kg/m^3 aumenta en 14% en promedio, esto se verifica para todas las relaciones de agua y cemento. Po lo tanto podemos indicar que a mayor dosificación de la fibra de acero se obtiene mayor resistencia a la flexión del concreto.
 9. La resistencia al Módulo Elástico Estático del concreto con mayor dosificación de fibra de acero de 45 kg/m^3 aumenta en 7.52% en promedio, esto se verifica para todas las relaciones de agua y cemento. Po lo tanto podemos indicar que a mayor dosificación de la fibra de acero se obtiene mayor Módulo Elástico Estático del concreto
 10. Los valores que concluyen esta investigación mantienen la misma dirección que otras tesis referentes a la inclusión de fibra de acero, estos valores dependen de la relación de aspecto que guarda la longitud con el diámetro de la fibra de acero.
 11. Los resultados arrojados en los diferentes ensayos tanto al concreto fresco como al concreto endurecido son el promedio de tres muestras ensayadas, esto con el fin de acercar el resultado a la realidad, y así reducir los errores que se pudieron haber causado en el proceso de la elaboración de los ensayos.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener un concreto de buena calidad, los materiales que se usarán deberán serlos, por ellos mencionaremos algunas consideraciones:
 - El cemento no deberá presentar grumos y deberá ser fresco, almacenado de manera correcta.
 - El agregado fino debe ser arena gruesa
 - El agregado grueso debe tener forma angulosa y no redondeada, esto para el mejor acomodo en la mezcla del concreto en las probetas de los ensayos.
2. El almacenamiento de las fibras debe ser en un lugar seco, de no ser así debe estar bien protegido de las lluvias y del medio ambiente, ya que puede causar oxidación en las fibras de acero.
3. Al momento de realizar las mezclas de concreto, colocar primero en el mezclador los agregados finos y grueso con una parte del agua de diseño, mezclar por unos segundos y después de ello echar el cemento con toda el agua de diseño. Cuando ya se observe una mezcla del concreto es ahí donde colocamos las fibras de acero, estas fibras de acero vienen agrupadas de forma paralelas entre sí, no se recomienda darnos el trabajo de despegarlos todos ya que al momento de la mezcla de por sí ellos se separan con el movimiento del trompo mezclador. Para ello se recomienda aumentar el tiempo de mezclado de 2 a 2.5 minutos.
4. Debido a que las fibras de acero disminuyen la trabajabilidad del concreto, se recomienda agregar aditivos plastificantes, más aún si se realizará un diseño para concreto bombeable.
5. Se recomienda usar el EPP básico en todo momento de los trabajos tanto desde hallar las propiedades de los materiales hasta los ensayos de las probetas.
6. En la ficha técnica del producto SIKA FIBER CHO 80/60 NB recomienda dosificaciones entre 10 kg/m^3 y 45 kg/m^3 de fibra de acero, esta tesis tuvo como límite la dosificación de 45 kg/m^3 , se recomienda seguir investigando con dosificaciones mayores ya que en otras marcas recomiendan hasta 60 kg/m^3 de fibra de acero.
7. Se recomienda realizar los ensayos de fatiga e impacto en los concretos con diferentes relaciones de agua y cemento, con variación de las dosificaciones de fibras de acero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, Fernando. "Estudio de las características del concreto con inclusión de fibras metálicas y cemento Portland Tipo I". Tesis de Grado FIC-UNI, Lima, 2009.
2. Castro Tomas, Fidel. "Efectos de la fibra de polipropileno en concretos con cemento Portland Tipo V". Tesis de Grado FIC-UNI, Lima, 2009
3. Cuaresma Carbajal, Julio, "Estudio de las propiedades del concreto utilizando fibras de refuerzo de acero", Tesis de Grado FIC-UNI, Lima, 2001.
4. Fernández Cánovas, Manuel. "Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales". Concreto y Acero. Madrid, España, 2003.
5. Fernández Cánovas, Manuel. "Concreto adaptado a la instrucción de recepción de cementos RC-08 y a la instrucción de concreto estructural EHE-08". Ibergarceta Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España, 2013.
6. Sanchez Alvarado, Fernando. "Estudio de las características del concreto con inclusión de fibras metálicas y cemento Portland Tipo I". Tesis de Grado FIC-UNI, Lima, 2009.
7. Soldevilla Ureta, Jhony. "Efectos de la fibra metálica en el concreto elaborado con cemento Portland tipo I". Tesis de Grado FIC- UNI, Lima, 2002.
8. Pasquel Carbajal, Enrique. "Tópicos de Tecnología del Concreto". Colegios de Ingenieros del Perú Consejo Nacional. Lima, 1993.

ANEXOS

ANEXO A: Resultados de las propiedades físicas de los agregados

ANEXO B: Diseño de mezclas del concreto

ANEXO C: Resultados Propiedades del Concreto en Estado Fresco

ANEXO D: Resultados Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

ANEXO E: Memoria Fotográfica

AGREGADO FINO

1. Análisis Granulométrico

Muestra
N° 01

Módulo de Finura = 3.321
Peso de la muestra = 500 gr

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	16.10	3.22	3.22	96.78	95.00	100.00
N° 8	97.30	19.46	22.68	77.32	80.00	100.00
N° 16	132.20	26.44	49.12	50.88	50.00	85.00
N° 30	114.70	22.94	72.06	27.94	25.00	60.00
N° 50	81.30	16.26	88.32	11.68	10.00	30.00
N° 100	42.10	8.42	96.74	3.26	2.00	10.00
FONDO	16.30	3.26	100.00	0.00		

Muestra
N° 02

Módulo de Finura = 3.809
Peso de la muestra = 500 gr

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	37.20	7.44	7.44	92.56	95.00	100.00
N° 8	139.00	27.80	35.24	64.76	80.00	100.00
N° 16	142.50	28.50	63.74	36.26	50.00	85.00
N° 30	95.60	19.12	82.86	17.14	25.00	60.00
N° 50	53.40	10.68	93.54	6.46	10.00	30.00
N° 100	22.70	4.54	98.08	1.92	2.00	10.00
FONDO	9.60	1.92	100.00	0.00		

Muestra
N° 03

Módulo de Finura = 3.483
Peso de la muestra = 500 gr

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	24.90	4.95	4.95	95.05	95.00	100.00
N° 8	113.20	22.50	27.44	72.56	80.00	100.00
N° 16	135.10	26.85	54.29	45.71	50.00	85.00
N° 30	104.60	20.79	75.08	24.92	25.00	60.00
N° 50	72.80	14.47	89.55	10.45	10.00	30.00
N° 100	37.50	7.45	97.00	3.00	2.00	10.00
FONDO	15.10	3.00	100.00	0.00		

2. Módulo de Finura

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Muestra	Módulo de Finura
M-1	3.321
M-2	3.809
M-3	3.483

3. Peso Específico y porcentaje de absorción

Muestra 01

Descripción	Símb.	Cantidad	Und
Peso de la arena superficialmente seca		500.00	gr
Peso de la arena superficialmente Seca + Peso del balón + Peso del Agua		940.00	gr
Peso del balón		142.40	gr
Peso del Agua	W	297.60	gr
Peso de la Arena Seca	A	483.00	gr
Volumen del balón	V	500.00	ml

- ✓ *Peso específico de masa (G)* = $\frac{A}{V-W} = \frac{483.00}{500.00-297.60} = 2.39 \text{ gr/ml}$
- ✓ *Peso específico de masa saturada superficialmente (G_{ss})* = $\frac{500}{V-W} = \frac{500.00}{500.00-297.60} = 2.47 \text{ gr/ml}$
- ✓ *Peso específico aparente (G_a)* = $\frac{A}{(V-W)-(500-A)} = \frac{483.00}{(500.00-297.60)-(500.00-483.00)} = 2.61 \text{ gr/ml}$
- ✓ *Porcentaje de absorción (a%)* = $100x \frac{500-A}{A} = 100x \frac{500.00-483.00}{483.00} = 3.52\%$

Muestra 02

Descripción	Símb.	Cantidad	Und
Peso de la arena superficialmente seca		500.00	gr
Peso de la arena superficialmente Seca + Peso del balón + Peso del Agua		940.50	gr
Peso del balón		142.40	gr
Peso del Agua	W	298.10	gr
Peso de la Arena Seca	A	484.20	gr
Volumen del balón	V	500.00	ml

- ✓ $\text{Peso específico de masa } (G) = \frac{A}{V-W} = \frac{484.20}{500.00-298.10} = 2.40 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico de masa saturada superficialmente } (G_{ss}) = \frac{500}{V-W} = \frac{500.00}{500.00-298.10} = 2.48 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico aparente } (G_a) = \frac{A}{(V-W)-(500-A)} = \frac{484.20}{(500.00-298.10)-(500.00-484.20)} = 2.60 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Porcentaje de absorción } (a\%) = 100x \frac{500-A}{A} = 100x \frac{500.00-484.20}{484.20} = 3.26\%$

Muestra 03

Descripción	Símb.	Cantidad	Und
Peso de la arena superficialmente seca		500.00	gr
Peso de la arena superficialmente Seca + Peso del balón + Peso del Agua		942.00	gr
Peso del balón		142.40	gr
Peso del Agua	W	299.60	gr
Peso de la Arena Seca	A	482.00	gr
Volumen del balón	V	500.00	ml

- ✓ $\text{Peso específico de masa } (G) = \frac{A}{V-W} = \frac{482.00}{500.00-299.60} = 2.41 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico de masa saturada superficialmente } (G_{ss}) = \frac{500}{V-W} = \frac{500.00}{500.00-299.60} = 2.50 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico aparente } (G_a) = \frac{A}{(V-W)-(500-A)} = \frac{484.20}{(500.00-299.60)-(500.00-482.00)} = 2.64 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Porcentaje de absorción } (a\%) = 100x \frac{500-A}{A} = 100x \frac{500.00-482.00}{482.00} = 3.73\%$

4. Contenido de humedad

Muestra 01

Descripción	Cantidad	Und
Peso de la muestra humedad	500.00	gr
Peso de la muestra seca	482.70	gr
Contenido de agua	17.30	gr
Contenido de humedad	3.58%	

Muestra 02

Descripción	Cantidad	Und
Peso de la muestra humedad	500.00	gr
Peso de la muestra seca	483.90	gr
Contenido de agua	16.10	gr
Contenido de humedad	3.33%	

Muestra 03

Descripción	Cantidad	Und
Peso de la muestra humedad	500.00	gr
Peso de la muestra seca	485.60	gr
Contenido de agua	14.40	gr
Contenido de humedad	2.97%	

5. Peso Unitario

Suelto

Descripción	Símb.	M-1	M-2	M-3	Und
Peso del recipiente		1,577.20	1,577.20	1,577.20	gr
Peso de la muestra suelta+ Recipiente		5,639.40	5,648.80	5,738.50	gr
Peso de la muestra suelta	Ws	4,062.20	4,071.60	4,161.30	gr
Volumen del recipiente de 1/10 pie ³ = 0.0028317m ³	f	2.83E-03	2.83E-03	2.83E-03	m ³
PESO UNITARIO SUELTO	PUS	1,434.54	1,437.86	1,469.54	Kg/m³

Compactado

Descripción	Símb.	M-1	M-2	M-3	Und
Peso del recipiente		1,577.20	1,577.20	1,577.20	Gr
Peso de la muestra suelta+ Recipiente		6,026.10	6,133.30	6,128.80	Gr
Peso de la muestra suelta	Wc	4,448.90	4,556.10	4,551.60	Gr
Volumen del recipiente de 1/10 pie ³ = 0.0028317m ³	F	2.83E-03	2.83E-03	2.83E-03	m ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	PUC	1,571.11	1,608.96	1,607.37	Kg/m³

AGREGADO GRUESO

1. Análisis granulométrico

Muestra

Módulo de Finura= 7.441

N° 01

Peso de la muestra= 5000 gr

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	733.20	14.66	14.66	85.34	90.00	100.00
3/4"	1805.60	36.11	50.78	49.22	40.00	90.00
1/2"	1633.60	32.67	83.45	16.55	15.00	45.00
3/8"	503.60	10.07	93.52	6.48	0.00	15.00
N° 4	315.40	6.31	99.83	0.17	0.00	5.00
FONDO	8.60	0.17	100.00	0.00	0.00	0.00

Muestra

Módulo de Finura= 7.440

N° 02

Peso de la muestra= 5000 gr

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	736.40	14.73	14.73	85.27	90.00	100.00
3/4"	1789.60	35.79	50.52	49.48	40.00	90.00
1/2"	1635.70	32.71	83.23	16.77	15.00	45.00
3/8"	526.90	10.54	93.77	6.23	0.00	15.00
N° 4	297.20	5.94	99.72	0.28	0.00	5.00
FONDO	14.20	0.28	100.00	0.00	0.00	0.00

Muestra

Módulo de Finura= 7.436

N° 03

Peso de la muestra= 5000 gr

Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	793.60	15.87	15.87	84.13	90.00	100.00
3/4"	1674.70	33.49	49.37	50.63	40.00	90.00
1/2"	1749.40	34.99	84.35	15.65	15.00	45.00
3/8"	503.20	10.06	94.42	5.58	0.00	15.00
N° 4	268.70	5.37	99.79	0.21	0.00	5.00
FONDO	10.40	0.21	100.00	0.00	0.00	0.00

2. Módulo de finura

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Muestra	Módulo de Finura
M-1	7.44
M-2	7.44
M-3	7.44

3. Peso específico y porcentaje de absorción

Muestra
N° 01

Peso de la muestra= 3000 gr

Descripción	Símbolo	Cantidad	Und
Peso de la muestra seca al horno	A	2,978.30	gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	B	3,000.00	gr
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla		2,850.60	gr
Peso de la canastilla		955.60	gr
Peso de la muestra saturada en agua	C	1,895.00	gr

- ✓ $\text{Peso específico de masa } (G) = \frac{A}{B-C} = \frac{2978.30}{3000.00-1985.00} = 2.695 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico de masa saturada superficialmente } (G_{ss}) = \frac{B}{B-C} = \frac{3000.00}{3000.00-1895.00} = 2.715 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico aparente } (G_a) = \frac{A}{A-C} = \frac{2978.30}{2978.30-1895.00} = 2.749 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Porcentaje de absorción } (a\%) = 100x \frac{B-A}{A} = 100x \frac{3000.00-2978.30}{2978.30} = 0.73\%$

Muestra
N° 02

Peso de la muestra= 3000 gr

Descripción	Símbolo	Cantidad	Und
Peso de la muestra seca al horno	A	2,978.00	gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	B	3,000.00	gr
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla		2,828.00	gr
Peso de la canastilla		955.60	gr
Peso de la muestra saturada en agua	C	1,872.40	gr

- ✓ $\text{Peso específico de masa } (G) = \frac{A}{B-C} = \frac{2978.00}{3000.00-1872.40} = 2.641 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico de masa saturada superficialmente } (G_{ss}) = \frac{B}{B-C} = \frac{3000.00}{3000.00-1872.40} = 2.661 \text{ gr/ml}$
- ✓ $\text{Peso específico aparente } (G_a) = \frac{A}{A-C} = \frac{2978.00}{2978.00-1872.40} = 2.694 \text{ gr/ml}$

$$\checkmark \text{ Porcentaje de absorción (a\%)} = 100x \frac{B-A}{A} = 100x \frac{3000.00-2978.00}{2978.00} = 0.74\%$$

Muestra
N° 03

Peso de la muestra= 3000 gr

Descripción	Símbolo	Cantidad	Und
Peso de la muestra seca al horno	A	2,980.30	gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	B	3,000.00	gr
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla		2,830.60	gr
Peso de la canastilla		955.60	gr
Peso de la muestra saturada en agua	C	1,875.00	gr

$$\checkmark \text{ Peso específico de masa (G)} = \frac{A}{B-C} = \frac{2980.30}{3000.00-1875.00} = 2.649 \text{ gr/ml}$$

$$\checkmark \text{ Peso específico de masa saturada superficialmente (G}_{ss}) = \frac{B}{B-C} = \frac{3000.00}{3000.00-1875.00} = 2.667 \text{ gr/ml}$$

$$\checkmark \text{ Peso específico aparente (G}_a) = \frac{A}{A-C} = \frac{2980.30}{2980.30-1875.00} = 2.696 \text{ gr/ml}$$

$$\checkmark \text{ Porcentaje de absorción (a\%)} = 100x \frac{B-A}{A} = 100x \frac{3000.00-2980.30}{2980.30} = 0.66\%$$

4. Contenido de humedad

Muestra 01

Descripción	Cantidad	Und
Peso de la muestra humedad	1,000.00	gr
Peso de la muestra seca	996.70	gr
Contenido de agua	3.30	gr
Contenido de humedad	0.33%	

Muestra 02

Descripción	Cantidad	Und
Peso de la muestra humedad	1,000.00	gr
Peso de la muestra seca	996.10	gr
Contenido de agua	3.90	gr
Contenido de humedad	0.39%	

Muestra 03

Descripción	Cantidad	Und
Peso de la muestra humedad	1,000.00	gr
Peso de la muestra seca	996.30	gr
Contenido de agua	3.70	gr
Contenido de humedad	0.37%	

5. Peso unitario

Suelto

Descripción	Símb.	M-1	M-2	M-3	Und
Peso del recipiente		4,360.00	4,360.00	4,360.00	gr
Peso de la muestra suelta+ Recipiente		17,270.00	16,960.00	17,020.00	gr
Peso de la muestra suelta	Ws	12,910.00	12,600.00	12,660.00	gr
Volumen del recipiente de 1/3 pie ³ = 0.0094389m ³	f	9.44E-03	9.44E-03	9.44E-03	m ³
PESO UNITARIO SUELTO	PUS	1,367.74	1,334.90	1,341.25	Kg/m³

Compactado

Descripción	Símb.	M-1	M-2	M-3	Und
Peso del recipiente		4,360.00	4,360.00	4,360.00	gr
Peso de la muestra suelta+ Recipiente		18,400.00	18,490.00	18,110.00	gr
Peso de la muestra suelta	Wc	14,040.00	14,130.00	13,750.00	gr
Volumen del recipiente de 1/3 pie ³ = 0.0094389m ³	f	9.44E-03	9.44E-03	9.44E-03	m ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	PUC	1,487.46	1,496.99	1,456.73	kg/m³

AGREGADO GLOBAL

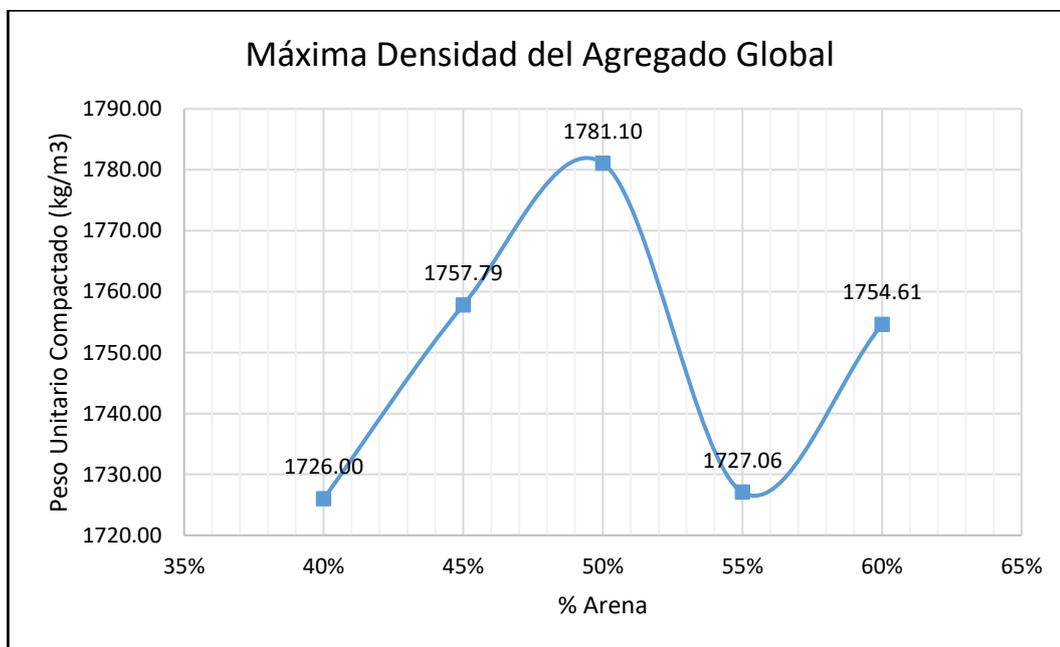
Colocación de %A- %P

PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS						
RELACIÓN	A/P	1	2	3	4	5
% A. FINO	A	40	45	50	55	60
% A. GRUESO	P	60	55	50	45	40

Peso unitario Compactado del Agregado Global (balde de 1/3 pie³)

Balde (m ³)	A/P	Peso Compactado (gr)			Peso Unitario Compactado (kg/m ³)			PUC promedio (kg/m ³)
		I	II	III	I	II	III	
0.009438	1	16,790.00	16,820.00	15,260.00	1,778.98	1,782.16	1,616.87	1,726.00
0.009438	2	16,850.00	16,880.00	16,040.00	1,785.34	1,788.51	1,699.51	1,757.79
0.009438	3	16,570.00	16,600.00	17,260.00	1,755.67	1,758.85	1,828.78	1,781.10
0.009438	4	16,300.00	16,330.00	16,270.00	1,727.06	1,730.24	1,723.88	1,727.06
0.009438	5	16,620.00	16,650.00	16,410.00	1,760.97	1,764.14	1,738.72	1,754.61

Gráfico de Peso unitario Compactado- Relación A/P



Podemos observar en el gráfico, que la mejor combinación de agregados para tener un máximo peso unitario compactado, se encuentra entre 45% y 50% de agregado fino; por tal motivo consideramos a este rango como un primer indicador de los porcentajes de participación de los agregados en la mezcla.

Mediante la resistencia a la compresión de 7 días obtendremos la relación A/P óptima para nuestro diseño.

PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS					
RELACIÓN	A/P	1	2	3	4
% A. FINO	A	45	47	48	50
% A. GRUESO	P	55	53	52	50

Con estas relaciones de A/P, buscaremos la máxima resistencia a la compresión a los 7 días y veremos la participación de porcentaje de la arena para el diseño de mezcla patrón.

A/P %	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	f'c a los 7 días (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
45	M1	10.02	25,294.60	78.85	320.78	322.45
	M2	10.05	25,195.60	79.33	317.62	
	M3	10.00	25,836.50	78.54	328.96	
47	M4	10.02	25,827.60	78.85	327.54	328.31
	M5	10.05	26,184.50	79.33	330.08	
	M6	10.06	26,016.40	79.49	327.31	
48	M7	10.03	26,394.50	79.01	334.06	332.55
	M8	10.08	26,194.60	79.80	328.25	
	M9	10.03	26,495.80	79.01	335.34	
50	M10	10.05	25,618.20	79.33	322.94	317.19
	M11	10.07	24,948.50	79.64	313.25	
	M12	10.05	25,017.50	79.33	315.37	

Granulometría

De los porcentajes retenidos de las muestras 1, 2 y 3 de Arena y piedra se tiene:

Tamiz ASTM	% Retenido de arena			% Retenido de piedra		
	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
2"				0.00	0.00	0.00
1 1/2"				0.00	0.00	0.00
1"				14.66	14.73	15.87
3/4"				36.11	35.79	33.49
1/2"				32.67	32.71	34.99
3/8"	0.00	0.00	0.00	10.07	10.54	10.06
N° 4	3.22	7.44	4.95	6.31	5.94	5.37
N° 8	19.46	27.80	22.50	0.17	0.28	0.21
N° 16	26.44	28.50	26.85			
N° 30	22.94	19.12	20.79			
N° 50	16.26	10.68	14.47			
N° 100	8.42	4.54	7.45			
FONDO	3.26	1.92	3.00			

Con esto resultados se hace el cálculo de la granulometría del Agregado Global

Tamiz ASTM	Arena (48%)	Piedra (52%)	% Retenido de la Arena	% Retenido de la Piedra	% Retenido Global	% Retenido acumulado	% que pasa
2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"		15.09	0.00	7.85	7.85	7.85	92.15
3/4"		35.13	0.00	18.27	18.27	26.11	73.89
1/2"		33.46	0.00	17.40	17.40	43.51	56.49
3/8"	0.00	10.22	0.00	5.32	5.32	48.83	51.17
N° 4	5.20	5.88	2.50	3.06	5.55	54.38	45.62
N° 8	23.25	0.22	11.16	0.12	11.28	65.66	34.34
N° 16	27.26		13.09	0.00	13.09	78.74	21.26
N° 30	20.95		10.06	0.00	10.06	88.80	11.20
N° 50	13.80		6.63	0.00	6.63	95.43	4.57
N° 100	6.80		3.27	0.00	3.27	98.69	1.31
FONDO	2.73		1.31	0.00	1.31	100.00	0.00

ANEXO B

DISEÑO DE MEZCLA

Agregado Global

La mejor combinación de agregados para tener un máximo peso unitario compactado, se encuentra entre 45% y 50% de agregado fino.

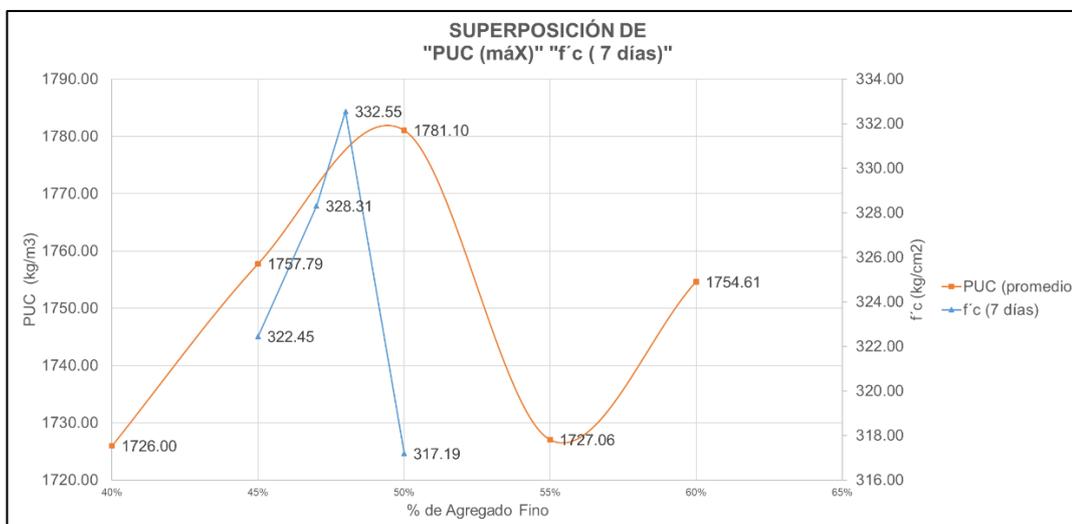
Mediante la resistencia a la compresión de 7 días obtendremos la relación A/P óptima para nuestro diseño.

PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS					
RELACIÓN	A/P	1	2	3	4
% A. FINO	A	45	47	48	50
% A. GRUESO	P	55	53	52	50

Con estas relaciones de A/P, buscaremos la máxima resistencia a la compresión a los 7 días y veremos la participación de porcentaje de la arena para el diseño de mezcla patrón.

A/P %	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	f'c a los 7 días (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
45	M1	10.02	25,294.60	78.85	320.78	322.45
	M2	10.05	25,195.60	79.33	317.62	
	M3	10.00	25,836.50	78.54	328.96	
47	M4	10.02	25,827.60	78.85	327.54	328.31
	M5	10.05	26,184.50	79.33	330.08	
	M6	10.06	26,016.40	79.49	327.31	
48	M7	10.03	26,394.50	79.01	334.06	332.55
	M8	10.08	26,194.60	79.80	328.25	
	M9	10.03	26,495.80	79.01	335.34	
50	M10	10.05	25,618.20	79.33	322.94	317.19
	M11	10.07	24,948.50	79.64	313.25	
	M12	10.05	25,017.50	79.33	315.37	

Superponemos los gráficos de PUC y Resistencia a la Compresión para observar el mejor desarrollo de los agregados en la mezcla de concreto.



Con respecto a la cantidad adecuada de los agregados se obtuvo que la relación de arena y piedra 48% y 52% es la más óptima, para esta investigación desarrollaremos 3 tipos de relaciones de agua-cemento; cada una de estas relaciones de a/c contendrán 03 cantidades tentativas de agua como veremos a continuación:

a/c	Agua (litros)		
	Cantidad 1	Cantidad 2	Cantidad 3
0.40	250	255	260
0.45	240	245	250
0.50	230	235	240

Diseño de mezcla preliminar

La secuencia de diseño que realizaremos a continuación será para 1 m³ de concreto, con una cantidad de agua de 250 l/m³, esta misma secuencia se utilizarán para las demás relaciones a/c.

1. Elección de la relación agua/cemento= 0.40
2. Elección de la consistencia: Concreto de consistencia plástica, con un rango de asentamiento 3"-4"
3. Estimación del contenido de aire atrapado por m³ de concreto: Método ACI

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3%
1/2"	3%
3/4"	2%
1"	2%
1 1/2"	1%
2"	50%
3"	30%

En base a la tabla del cuadro 4.4.2, se tiene el porcentaje aproximado de aire atrapado en mezclas sin aire atrapado, para diferentes tamaños nominales máximos del agregado grueso se tiene que para un T.N.M. de 1" el contenido de aire es de 1% del volumen de concreto.

4. Cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto: conociendo la relación de agua/cemento=0.40, se obtiene la cantidad de cemento:

$$\frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = 0.40 = \frac{250}{\text{cemento}} \quad \text{Cemento} = 625 \text{ kg}$$

5. Cálculo del volumen absoluto de cemento:

$$\text{Vol Cemento}(m^3) = \frac{\text{Peso del cemento (kg)}}{\text{Peso Específico del cemento } \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$\text{VolCemento}(m^3) = \frac{625}{3110} = 0.201 m^3$$

6. Cálculo del volumen absoluto de agua:

$$\text{Vol Agua}(m^3) = \frac{\text{Peso del agua (kg)}}{\text{Peso Específico del agua } \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$\text{Vol Agua}(m^3) = \frac{250}{1000} = 0.250 m^3$$

7. Cálculo del volumen absoluto que ocuparán los agregados: como se diseña para 1 m³ de concreto, entonces restaremos los volúmenes de cemento, agua y aire a 1 m³.

$$\text{Volumen de agregados} = 1 - 0.201 - 0.25$$

$$\text{Volumen de agregados} = 0.534 m^3$$

Tenemos:

$$\text{Volumen de agregados} = \text{Vol arena} + \text{Vol piedra} = 0.534$$

$$\text{Vol piedra} = 0.534 - \text{Vol arena}$$

Además:

$$\text{Peso arena} = 2396 \times \text{Vol arena}$$

$$\text{Peso piedra} = 2661 \times (0.534 - \text{Vol arena})$$

Sumando ambas ecuaciones:

$$\text{Peso arena} + \text{Peso piedra} = 1420.97 - 265 \times \text{Vol arena}$$

Se cumple:

$$\frac{\text{Peso Arena}}{\text{Peso Total}} = \frac{\% \text{Arena}}{100\%}$$

$$\frac{2396 \times \text{Vol arena}}{1420.97 - 265 \times \text{Vol arena}} = \frac{48}{100}$$

Resolviendo la ecuación se obtiene los volúmenes de arena y piedra:

$$\text{Vol arena} = 0.273 m^3$$

$$\text{Vol piedra} = 0.266 m^3$$

8. Cálculo de los pesos de los agregados al estado seco:

$$\text{Peso arena} = 2396 \times 0.273$$

$$\text{Peso arena} = 654.10 \text{ kg}$$

$$\text{Peso piedra} = 2661 \times 0.266$$

$$\text{Peso piedra} = 707.82 \text{ kg}$$

9. Corrección y ajustes del agua por contenido de humedad y abrasión de los agregados:

$$\text{Ajuste N}^\circ 1 \text{ por peso seco Arena} = \text{Peso Arenax}(\% \text{Humedad} - \% \text{Abs})$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 1 \text{ por peso seco Arena} = 654.10 \times (1.4\% - 1.3\%)$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 1 \text{ por peso seco Arena} = 0.654 \text{ lt}$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 2 \text{ por peso seco Piedra} = \text{Peso Piedra} \times (\% \text{Humedad} - \% \text{Abs})$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 2 \text{ por peso seco Piedra} = 707.82 \times (0.15\% - 0.71\%)$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 2 \text{ por peso seco Piedra} = -3.964 \text{ lt}$$

Entonces la corrección por agua será la suma de los ajustes N°1 y N°2:

$$\text{Agua corregida} = 0.654 - (-3.964)$$

$$\text{Agua corregida} = -3.31 \text{ lt}$$

10. Corrección de los pesos de los agregados por humedad:

$$\text{Peso húmedo Arena} = \text{Peso Arena} \times (1 + \% \text{Humedad})$$

$$\text{Peso húmedo Arena} = 654.10 \times (1 + 1.4\%)$$

$$\text{Peso húmedo Arena} = 663.25 \text{ kg}$$

$$\text{Peso húmedo Piedra} = \text{Peso Piedra} \times (1 + \% \text{Humedad})$$

$$\text{Peso húmedo Arena} = 707.82 \times (1 + 0.15\%)$$

$$\text{Peso húmedo Arena} = 708.88 \text{ kg}$$

11. Para el diseño de una tanda de laboratorio se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales respectivos para 48 kg de concreto, es:

Cemento	13.33	kg
Agua	5.40	lt
Arena	14.14	kg
Piedra	15.13	kg

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.40 (250 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	250	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.40	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	625.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Vol.		Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
	Peso (kg)	Abs.(m ³)			
Cemento	625.00	0.201	1.00	13.41	13.33
Agua	250.00	0.250	0.40	5.36	5.40
Arena	654.10	0.273	1.05	14.03	14.14
Piedra	707.82	0.266	1.13	15.20	15.13
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 2 ½”.

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.40 (255 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	255	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.40	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	637.50	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	637.50	0.205	1.00	13.71	13.63
Agua	255.00	0.255	0.40	5.48	5.52
Arena	643.03	0.268	1.01	13.83	13.94
Piedra	696.61	0.262	1.09	14.98	14.91
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 3”.

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.40 (260 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	260	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.40	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	650.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	650.00	0.209	1.00	14.01	13.93
Agua	260.00	0.260	0.40	5.60	5.64
Arena	632.09	0.264	0.97	13.62	13.73
Piedra	684.76	0.257	1.05	14.76	14.70
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4".

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.45 (240 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	240	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.45	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	533.33	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	533.33	0.171	1.00	11.45	11.38
Agua	240.00	0.240	0.45	5.15	5.20
Arena	701.86	0.293	1.32	15.07	15.18
Piedra	760.35	0.286	1.43	16.33	16.24
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 3 ½".

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.45 (245 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	245	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.45	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	544.44	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	544.44	0.175	1.00	11.72	11.64
Agua	245.00	0.245	0.45	5.27	5.31
Arena	691.46	0.289	1.27	14.88	15.00
Piedra	749.08	0.281	1.38	16.12	16.05
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4".

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.45 (250 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	250	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.45	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	555.56	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	555.56	0.179	1.00	11.99	11.91
Agua	250.00	0.250	0.45	5.39	5.43
Arena	681.06	0.284	1.23	14.70	14.81
Piedra	737.82	0.277	1.33	15.92	15.84
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 5 ½".

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.50 (230 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	230	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.50	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	460.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	460.00	0.148	1.00	9.87	9.80
Agua	230.00	0.230	0.50	4.93	4.98
Arena	742.60	0.310	1.61	15.93	16.05
Piedra	804.49	0.302	1.75	17.26	17.17
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4".

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.50 (235 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	235	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.50	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	470.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	470.00	0.151	1.00	10.11	10.04
Agua	235.00	0.235	0.50	5.06	5.10
Arena	732.64	0.306	1.56	15.76	15.87
Piedra	793.69	0.298	1.69	17.07	16.98
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 5 ½".

Cuadro resumen para el diseño preliminar de a/c=0.50 (240 lt/m³)

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	240	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.50	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	480.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	480.00	0.154	1.00	10.35	10.28
Agua	240.00	0.240	0.50	5.18	5.22
Arena	722.67	0.302	1.51	15.59	15.70
Piedra	782.89	0.294	1.63	16.89	16.80
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 6 ½”.

Diseño de mezcla de concreto patrón

Obtenido los asentamientos para cada diseño preliminar, se calcula las cantidades de agua optimas, y se obtiene el diseño de mezcla, mediante la secuencia de diseño.

1. Diseño Patrón con relación a/c=0.40

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	260	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.40	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	650.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	650.00	0.209	1.00	14.01	13.93
Agua	260.00	0.260	0.40	5.60	5.64
Arena	632.09	0.264	0.97	13.62	13.73
Piedra	684.76	0.257	1.05	14.76	14.70
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

- En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4”.

2. Diseño Patrón con relación a/c=0.45

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	245	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.45	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	544.44	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	544.44	0.175	1.00	11.72	11.64
Agua	245.00	0.245	0.45	5.27	5.31
Arena	691.46	0.289	1.27	14.88	15.00
Piedra	749.08	0.281	1.38	16.12	16.05
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

- En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4”.

3. Diseño Patrón con relación a/c=0.50

DATOS		Características físicas		
Tanda (kg)	48		ARENA	PIEDRA
Agua (lt)	230	P.E. (kg/m ³)	2,397	2,662
a/c	0.50	% Abs	1.30%	0.71%
Cemento (kg)	460.00	% Humedad	1.40%	0.15%
P.E. Cemento (kg/m ³)	3110	Proporción	48.00%	52.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000			

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs.(m ³)	Dosif. Unit.	Tanda (kg)	Tanda Corregida(kg)
Cemento	460.00	0.148	1.00	9.87	9.80
Agua	230.00	0.230	0.50	4.93	4.98
Arena	742.60	0.310	1.61	15.93	16.05
Piedra	804.49	0.302	1.75	17.26	17.17
Aire atrapado (%)	1.00%	0.010			

- En este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de 4”.

Dosificación de la fibra metálica para cada relación a/c:

1. Diseño Patrón con relación a/c=0.40

15 kg/m ³	0.321
30 kg/m ³	0.643
45 kg/m ³	0.964

2. Diseño Patrón con relación a/c=0.45

15 kg/m ³	0.321
30 kg/m ³	0.642
45 kg/m ³	0.962

3. Diseño Patrón con relación a/c=0.50

15 kg/m ³	0.320
30 kg/m ³	0.639
45 kg/m ³	0.959

ANEXO C

ASENTAMIENTO

Mezcla (a/c)	Dosificación de la Fibra	Asentamiento (pulg.)			Promedio (pulg.)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.40	Patrón	4	4	4	4
	15 kg/m ³	3 3/4	4	3 3/4	3 3/4
	30 kg/m ³	3 3/4	3 1/2	3 1/2	3 1/2
	45 kg/m ³	3 1/2	3	3	3

Mezcla (a/c)	Dosificación de la Fibra	Asentamiento (pulg.)			Promedio (pulg.)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.45	Patrón	4	4	4	4
	15 kg/m ³	3 3/4	3 3/4	4	3 3/4
	30 kg/m ³	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2
	45 kg/m ³	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2

Mezcla (a/c)	Dosificación de la Fibra	Asentamiento (pulg.)			Promedio (pulg.)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.50	Patrón	4	4	4	4
	15 kg/m ³	3 3/4	3 3/4	3 3/4	3 3/4
	30 kg/m ³	3 3/4	3 3/4	3 3/4	3 3/4
	45 kg/m ³	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2

PESO UNITARIO (Obtención de datos)

Mezcla	Dosificación de la Fibra	Peso del Balde	Peso del Balde + la Mezcla		
			Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
a/c	kg/m ³	gr	gr	gr	gr
0.40	Patrón	2,420.00	18,875.27	19,181.09	18,911.87
	15	2,420.00	19,072.14	19,018.84	19,179.82
	30	2,420.00	19,223.78	19,260.38	19,488.61
	45	2,420.00	19,325.65	19,372.09	19,333.72

Mezcla	Dosificación de la Fibra	Peso del Balde	Peso del Balde + la Mezcla		
			Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
a/c	kg/m ³	gr	gr	gr	gr
0.45	Patrón	2,420.00	19,198.29	19,000.85	19,223.07
	15	2,420.00	19,277.37	19,126.30	19,127.43
	30	2,420.00	19,221.02	19,437.36	19,455.41
	45	2,420.00	19,362.25	19,530.52	19,401.68

Mezcla	Dosificación de la Fibra	Peso del Balde	Peso del Balde + la Mezcla		
			Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
a/c	kg/m ³	gr	gr	gr	gr
0.50	Patrón	2,420.00	19,183.22	19,055.36	19,382.85
	15	2,420.00	19,341.15	19,170.40	19,328.76
	30	2,420.00	19,459.66	19,461.50	19,367.77
	45	2,420.00	19,440.47	19,590.13	19,544.26

PESO UNITARIO (Procesamiento de datos)

Mezcla	Dosificación de la Fibra	Peso			Promedio
		Unitario 1	Unitario 2	Unitario 3	
a/c	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
0.40	Patrón	2,324.45	2,367.65	2,329.62	2,340.57
	15	2,352.26	2,344.73	2,367.47	2,354.82
	30	2,373.68	2,378.85	2,411.09	2,387.87
	45	2,388.07	2,394.63	2,389.21	2,390.64

Mezcla	Dosificación de la Fibra	Peso			Promedio
		Unitario 1	Unitario 2	Unitario 3	
a/c	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
0.45	Patrón	2,370.08	2,342.19	2,373.58	2,361.95
	15	2,381.25	2,359.91	2,360.07	2,367.08
	30	2,373.29	2,403.85	2,406.40	2,394.51
	45	2,393.24	2,417.01	2,398.81	2,403.02

Mezcla	Dosificación de la Fibra	Peso			Promedio
		Unitario 1	Unitario 2	Unitario 3	
a/c	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
0.50	Patrón	2,367.95	2,349.89	2,396.15	2,371.33
	15	2,390.26	2,366.14	2,388.51	2,381.64
	30	2,407.00	2,407.26	2,394.02	2,402.76
	45	2,404.29	2,425.43	2,418.95	2,416.22

CONTENIDO DE AIRE

Diseño de Mezcla		CONTENIDO AIRE
a/c	Dosificación	
0.40	Patrón	1.75%
	15 kg/m ³	1.45%
	30 kg/m ³	1.35%
	45 kg/m ³	1.45%
0.45	Patrón	1.65%
	15 kg/m ³	1.90%
	30 kg/m ³	1.65%
	45 kg/m ³	1.50%
0.50	Patrón	1.60%
	15 kg/m ³	1.40%
	30 kg/m ³	1.50%
	45 kg/m ³	1.40%

EXUDACIÓN- Concreto Patrón

TIEMPO (min)		a/c=0.40 Vol. Agua (ml)		a/c=0.45 Vol. Agua (ml)		a/c=0.50 Vol. Agua (ml)	
Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
00:00	00:00	-	-	-	-	-	-
00:10	00:10	1.40	1.40	1.20	1.20	1.30	1.30
00:10	00:20	1.20	2.60	1.10	2.30	1.30	2.60
00:10	00:30	1.00	3.60	1.40	3.70	1.40	4.00
00:10	00:40	0.90	4.50	1.00	4.70	2.40	6.40
00:30	01:10	0.60	5.10	1.80	6.50	1.30	7.70
00:30	01:40	-	5.10	-	6.50	-	7.70
00:30	02:10	-	5.10	-	6.50	-	7.70
00:30	02:40	-	5.10	-	6.50	-	7.70
00:30	03:10	-	5.10	-	6.50	-	7.70
00:30	03:40	-	5.10	-	6.50	-	7.70

Descripción	Símb.	Und	Dosificación de Fibra Metálica 80/60 CHO		
			0.40	0.45	0.50
Cantidad de fibra metálica		kg/m ³	0.40	0.45	0.50
Capacidad del recipiente		pie ³	1/4	1/4	1/4
Peso del recipiente		kg	0.2	0.2	0.2
Peso del recipiente+ peso del concreto		kg	8.79	9.2	8.96
Peso de la muestra de concreto ensayada	S	kg	8.59	9	8.76
Peso total del concreto por m3 (diseño)	W	kg	50	50	50
Peso de agua por m3 de concreto (diseño)	w	kg	5.91	5.57	5.22
Peso de agua en la probeta de ensayo	C	kg	1015.34	1002.60	914.54
Volumen del agua exudada		ml	5.10	6.50	7.70
% de Exudación		%	0.50%	0.65%	0.84%

EXUDACIÓN- Concreto Patrón con fibras

Obtención de datos

Mezcla a/c	TIEMPO (min)		15 kg/m ³ Vol. Agua (ml)		30 kg/m ³ Vol. Agua (ml)		45 kg/m ³ Vol. Agua (ml)	
	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
0.40	00:00	00:00	-	-	-	-	-	-
	00:10	00:10	1.90	1.90	1.00	1.00	1.60	1.60
	00:10	00:20	1.70	3.60	3.50	4.50	1.30	2.90
	00:10	00:30	3.40	7.00	1.50	6.00	2.00	4.90
	00:10	00:40	2.00	9.00	2.20	8.20	2.70	7.60
	00:30	01:10	2.00	11.00	6.20	14.40	-	7.60
	00:30	01:40	2.30	13.30	1.20	15.60	-	7.60
	00:30	02:10	-	13.30	-	15.60	-	7.60
	00:30	02:40	-	13.30	-	15.60	-	7.60
	00:30	03:10	-	13.30	-	15.60	-	7.60
00:30	03:40	-	13.30	-	15.60	-	7.60	
0.45	00:00	00:00	-	-	-	-	-	-
	00:10	00:10	1.40	1.40	2.00	2.00	1.20	1.20
	00:10	00:20	2.40	3.80	4.50	6.50	1.60	2.80
	00:10	00:30	2.70	6.50	3.60	10.10	2.50	5.30
	00:10	00:40	3.60	10.10	2.30	12.40	2.50	7.80
	00:30	01:10	3.40	13.50	2.50	14.90	4.00	11.80
	00:30	01:40	-	13.50	-	14.90	1.00	12.80
	00:30	02:10	-	13.50	-	14.90	-	12.80
	00:30	02:40	-	13.50	-	14.90	-	12.80
	00:30	03:10	-	13.50	-	14.90	-	12.80
00:30	03:40	-	13.50	-	14.90	-	12.80	
0.50	00:00	00:00	-	-	-	-	-	-
	00:10	00:10	3.00	3.00	1.30	1.30	1.40	1.40
	00:10	00:20	3.70	6.70	3.20	4.50	3.60	5.00
	00:10	00:30	3.20	9.90	4.80	9.30	3.60	8.60
	00:10	00:40	2.60	12.50	3.40	12.70	3.00	11.60
	00:30	01:10	8.70	21.20	9.50	22.20	8.00	19.60
	00:30	01:40	1.20	22.40	6.60	28.80	3.10	22.70
	00:30	02:10	-	22.40	1.00	29.80	-	22.70
	00:30	02:40	-	22.40	-	29.80	-	22.70
	00:30	03:10	-	22.40	-	29.80	-	22.70
00:30	03:40	-	22.40	-	29.80	-	22.70	

EXUDACIÓN- Concreto Patrón con fibras

Procesamiento de datos

Mezcla a/c	Descripción	Símb.	Und	Dosificación de Fibra Metálica 80/60 CHO		
0.40	Cantidad de fibra metálica		kg/m ³	15	30	45
	Peso del recipiente		kg	0.2	0.2	0.2
	Peso del recipiente+ peso del concreto		kg	9.46	9.78	8.5
	Peso de la muestra de concreto ensayada	S	kg	9.26	9.58	8.3
	Peso total del concreto por m ³ (diseño)	W	kg	60.4	60.81	51.01
	Peso de agua por m ³ de concreto (diseño)	w	kg	7.09	7.09	5.91
	Peso de agua en la probeta de ensayo	C	kg	1086.98	1116.96	961.63
	Volumen del agua exudada		ml	13.30	15.60	7.60
	% de Exudación		%	1.22%	1.40%	0.79%
0.45	Cantidad de fibra metálica		kg/m ³	15	30	45
	Peso del recipiente		kg	0.2	0.2	0.2
	Peso del recipiente+ peso del concreto		kg	9.81	9.76	9.58
	Peso de la muestra de concreto ensayada	S	kg	9.61	9.56	9.38
	Peso total del concreto por m ³ (diseño)	W	kg	60.4	60.81	51.01
	Peso de agua por m ³ de concreto (diseño)	w	kg	6.68	6.68	5.57
	Peso de agua en la probeta de ensayo	C	kg	1062.83	1050.17	1024.24
	Volumen del agua exudada		ml	13.50	14.90	12.80
	% de Exudación		%	1.27%	1.42%	1.25%
0.50	Cantidad de fibra metálica		kg/m ³	15	30	45
	Peso del recipiente		kg	0.2	0.2	0.2
	Peso del recipiente+ peso del concreto		kg	9.3	9.36	9.88
	Peso de la muestra de concreto ensayada	S	kg	9.1	9.16	9.68
	Peso total del concreto por m ³ (diseño)	W	kg	60.4	60.8	51.01
	Peso de agua por m ³ de concreto (diseño)	w	kg	6.26	6.26	5.22
	Peso de agua en la probeta de ensayo	C	kg	943.15	943.12	990.58
	Volumen del agua exudada		ml	22.40	29.80	22.70
	% de Exudación		%	2.38%	3.16%	2.29%

TIEMPO DE FRAGUADO

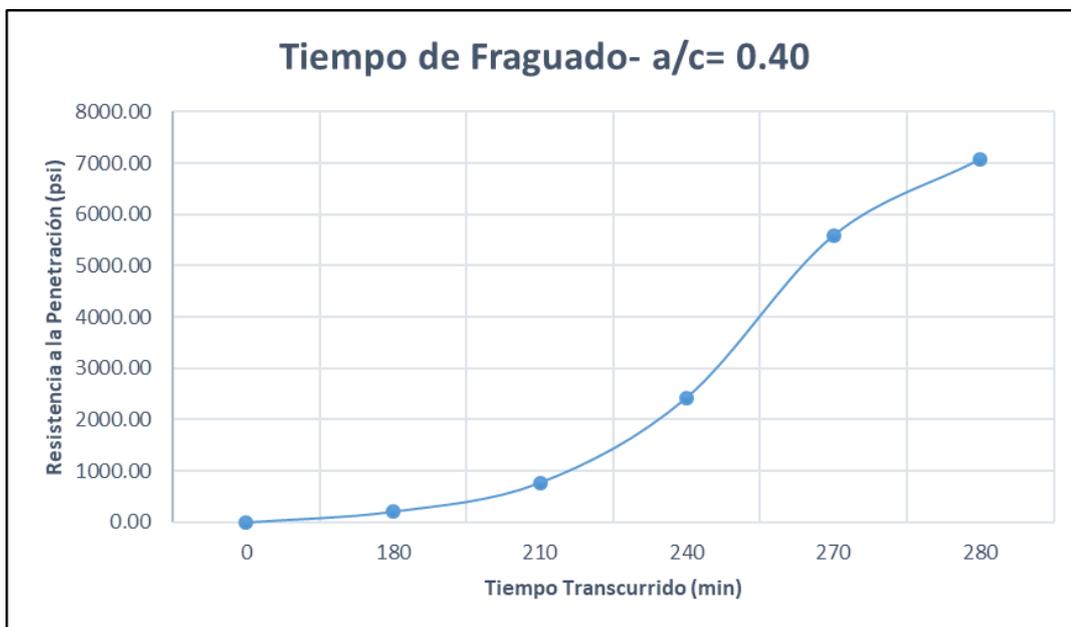
Concreto Patrón

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
0.40	Hora de Inicio		08:35	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	08:35	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	11:35	03:00	180.00	1 1/16	0.8866	188	184	212.04	207.52	209.78
	12:05	00:30	210.00	1/2	0.1963	150	152	763.94	774.13	769.04
	12:35	00:30	240.00	1/4	0.0491	120	118	2444.62	2403.88	2424.25
	13:05	00:30	270.00	3/16	0.0276	152	156	5504.92	5649.79	5577.36
	13:15	00:10	280.00	3/16	0.0276	196	194	7098.45	7026.02	7062.24

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
0.45	Hora de Inicio		09:10	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	09:10	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	12:10	03:00	180.00	1 1/16	0.8866	86	96	97.00	108.27	102.63
	12:40	00:30	210.00	3/4	0.4418	134	124	303.31	280.68	292.00
	13:10	00:30	240.00	1/2	0.1963	164	158	835.25	804.69	819.97
	13:40	00:30	270.00	1/4	0.0491	114	110	2322.39	2240.90	2281.65
	14:10	00:30	300.00	3/16	0.0276	148	140	5360.06	5070.32	5215.19

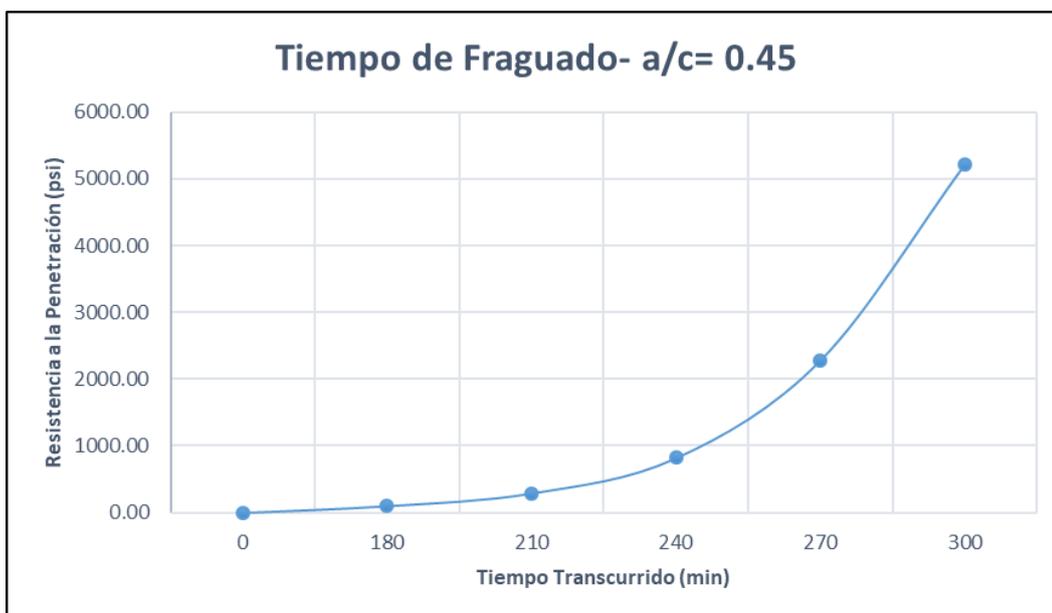
Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
0.50	Hora de Inicio		10:05	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	10:05	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	13:05	03:00	180.00	1 1/16	0.8866	72	72	81.21	81.21	81.21
	13:35	00:30	210.00	3/4	0.4418	104	100	235.41	226.35	230.88
	14:05	00:30	240.00	1/2	0.1963	144	134	733.39	682.46	707.92
	14:35	00:30	270.00	1/4	0.0491	84	82	1711.23	1670.49	1690.86
	15:05	00:30	300.00	3/16	0.0276	96	94	3476.79	3404.36	3440.58
15:25	00:20	320.00	3/16	0.0276	162	154	5867.09	5577.36	5722.22	

FRAGUA a/c=0.40 – Patrón



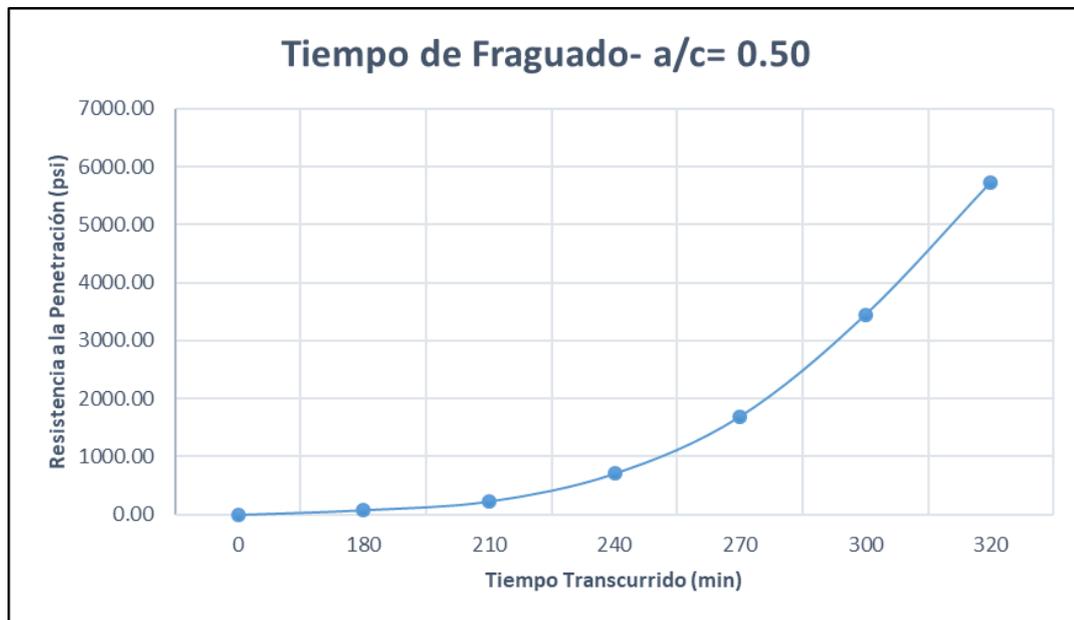
TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 200 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 256 min

FRAGUA a/c=0.45 – Patrón



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 227 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 289 min

FRAGUA a/c=0.50 – Patrón



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 230 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 306 min

TIEMPO DE FRAGUADO – Concreto con Fibras

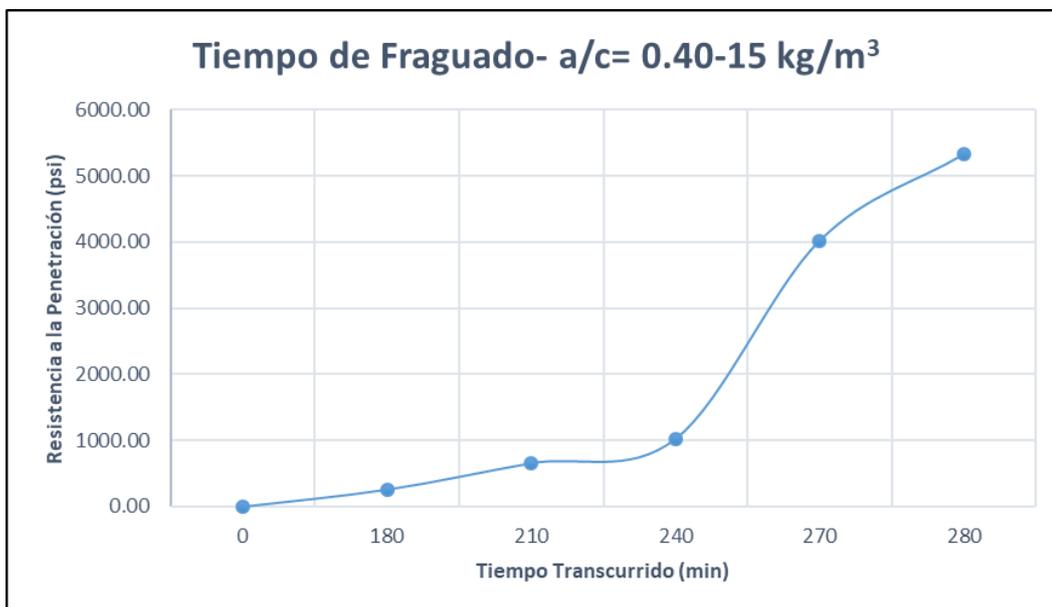
Dosificación 15 kg/m³

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		08:10	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.40- 15 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	08:10	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	11:10	03:00	180.00	3/4	0.4418	110	118	248.99	267.10	258.04
	11:40	00:30	210.00	1/2	0.1963	130	128	662.08	651.90	656.99
	12:10	00:30	240.00	3/8	0.1104	118	108	1068.39	977.85	1023.12
	12:40	00:30	270.00	3/16	0.0276	110	112	3983.83	4056.26	4020.04
	12:50	00:10	280.00	3/16	0.0276	148	146	5360.06	5287.62	5323.84

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		09:15	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.45- 15 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	09:15	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	12:15	03:00	180.00	1 1/16	0.8866	140	160	157.90	180.46	169.18
	12:45	00:30	210.00	1/2	0.1963	116	122	590.78	621.34	606.06
	13:15	00:30	240.00	3/8	0.1104	122	126	1104.61	1140.82	1122.71
	13:45	00:30	270.00	1/4	0.0491	174	180	3544.70	3666.93	3605.81
	14:15	00:30	300.00	3/16	0.0276	188	190	6808.72	6881.15	6844.94

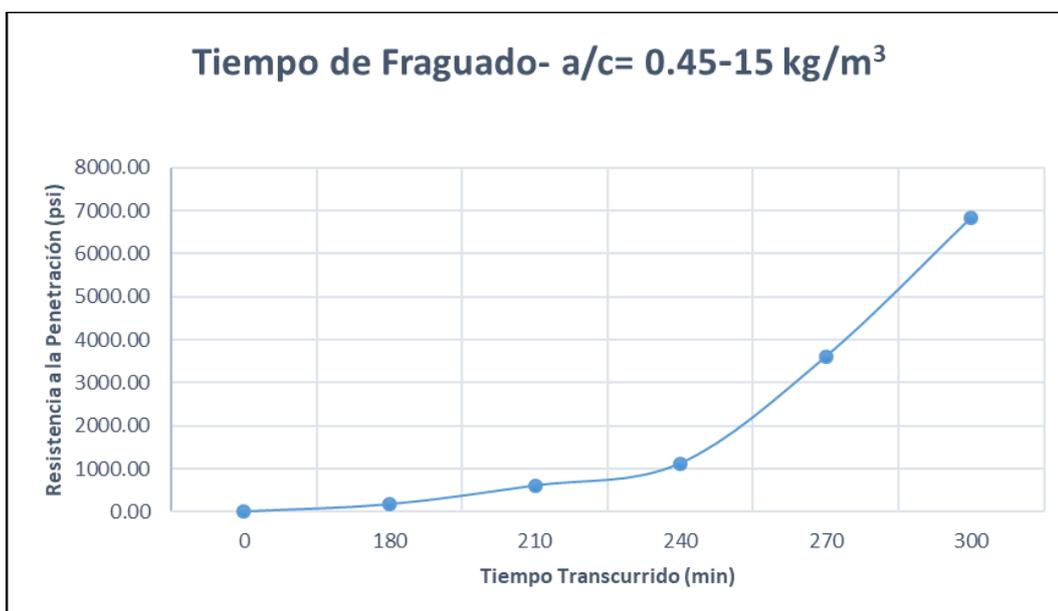
Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		10:30	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.50- 15 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	10:30	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	13:30	03:00	180.00	1 1/16	0.8866	45	45	50.75	50.75	50.75
	14:00	00:30	210.00	3/4	0.4418	104	104	235.41	235.41	235.41
	14:30	00:30	240.00	1/2	0.1963	100	102	509.30	519.48	514.39
	15:00	00:30	270.00	3/8	0.1104	116	118	1050.28	1068.39	1059.34
	15:30	00:30	300.00	1/4	0.0491	158	168	3218.75	3422.47	3320.61
	15:50	00:20	320.00	3/16	0.0276	152	156	5504.92	5649.79	5577.36

FRAGUA a/c=0.40 – 15 kg/m³



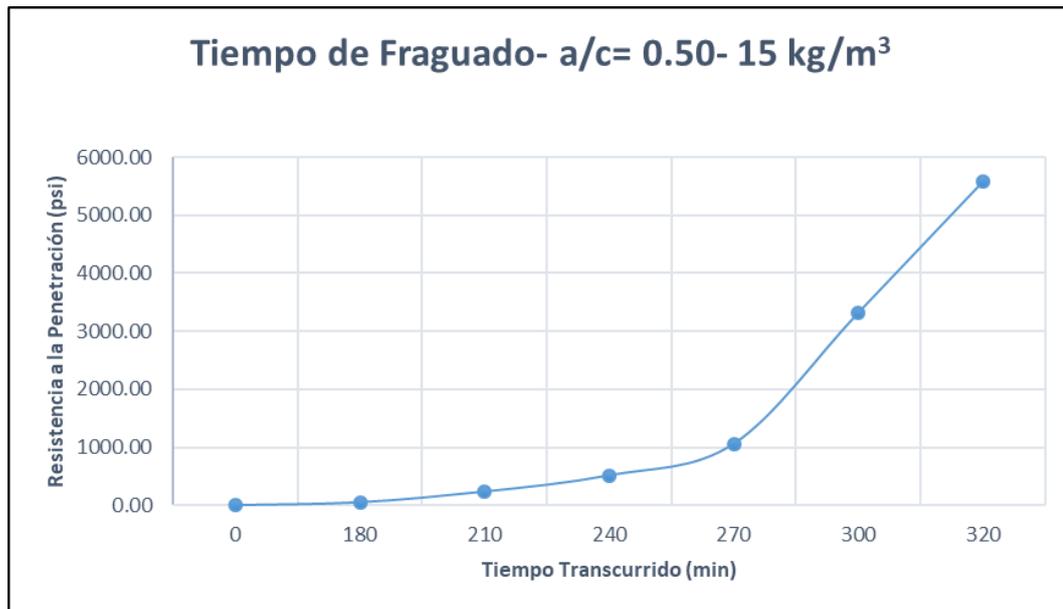
TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 198 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 270 min

FRAGUA a/c=0.45 – 15 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 202 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 274 min

FRAGUA a/c=0.50 – 15 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 240 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 307 min

TIEMPO DE FRAGUADO – Concreto con Fibras

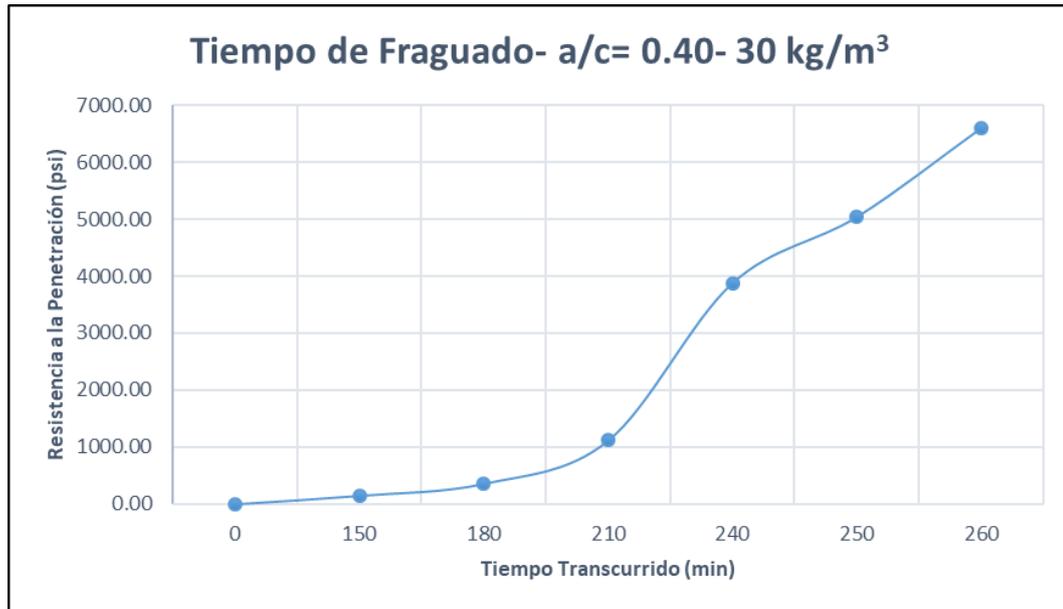
Dosificación 30 kg/m³

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		08:15	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.40- 30 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	08:15	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	10:45	02:30	150.00	1 1/16	0.8866	130	132	146.62	148.88	147.75
	11:15	00:30	180.00	3/4	0.4418	156	160	353.11	362.17	357.64
	11:45	00:30	210.00	3/8	0.1104	124	122	1122.71	1104.61	1113.66
	12:15	00:30	240.00	3/16	0.0276	104	110	3766.53	3983.83	3875.18
	12:25	00:10	250.00	3/16	0.0276	138	140	4997.89	5070.32	5034.11
	12:35	00:10	260.00	3/16	0.0276	186	178	6736.29	6446.55	6591.42

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		09:00	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.45- 30 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	09:00	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	11:30	02:30	150.00	3/4	0.4418	74	78	167.50	176.56	172.03
	12:00	00:30	180.00	1/2	0.1963	76	80	387.06	407.44	397.25
	12:30	00:30	210.00	3/8	0.1104	120	116	1086.50	1050.28	1068.39
	13:00	00:30	240.00	1/4	0.0491	190	194	3870.65	3952.14	3911.39
	13:10	00:10	250.00	3/16	0.0276	142	152	5142.76	5504.92	5323.84
	13:20	00:10	260.00	3/16	0.0276	192	198	6953.59	7170.89	7062.24

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		10:35	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.50- 30 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	10:35	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	13:35	03:00	180.00	1 1/16	0.8866	92	98	103.76	110.53	107.15
	14:05	00:30	210.00	3/4	0.4418	120	136	271.62	307.84	289.73
	14:35	00:30	240.00	1/2	0.1963	176	160	896.36	814.87	855.62
	15:05	00:30	270.00	1/4	0.0491	74	74	1507.52	1507.52	1507.52
	15:35	00:30	300.00	3/16	0.0276	74	68	2680.03	2462.73	2571.38
	15:45	00:10	310.00	3/16	0.0276	82	81	2969.76	2933.54	2951.65
	15:55	00:10	320.00	3/16	0.0276	97	96	3513.01	3476.79	3494.90
	16:05	00:10	330.00	3/16	0.0276	156	148	5649.79	5360.06	5504.92

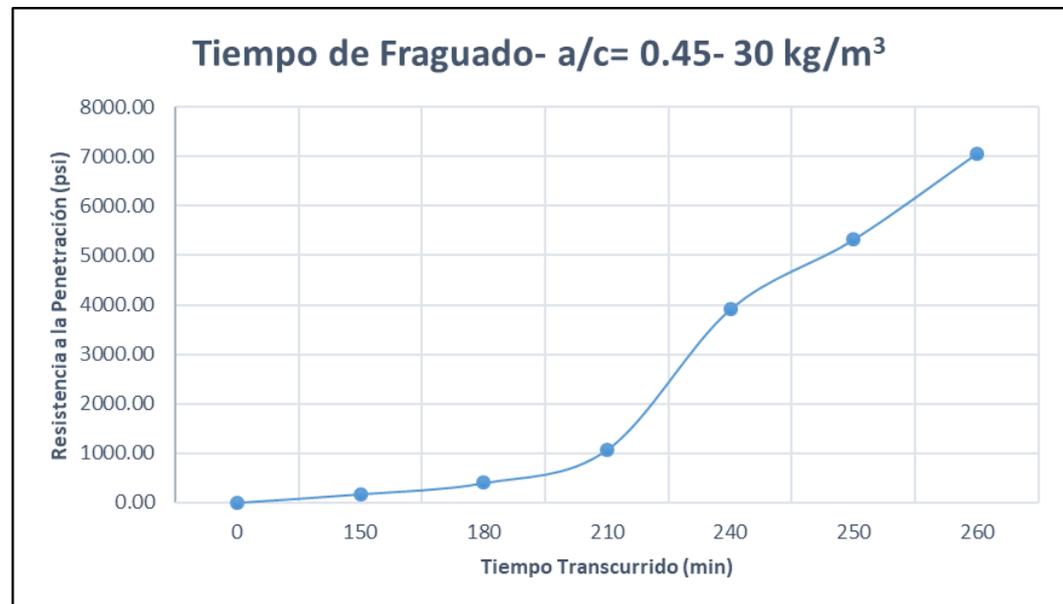
FRAGUA a/c=0.40 – 30 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 191 min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 242 min

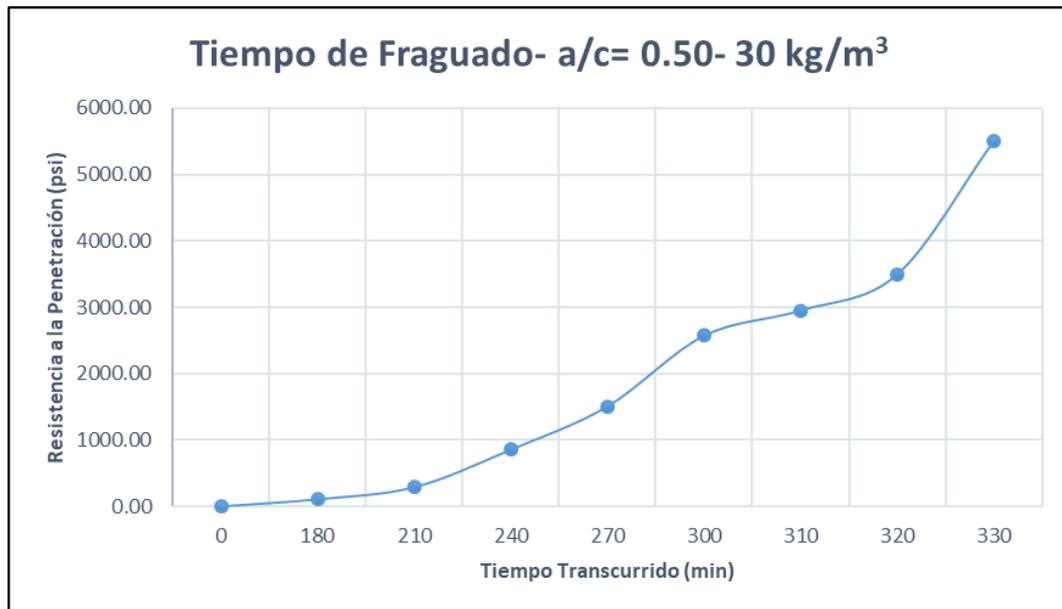
FRAGUA a/c=0.45 – 30 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 190 min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 241 min

FRAGUA a/c=0.50 – 30 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 223 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 322 min

TIEMPO DE FRAGUADO – Concreto con Fibras

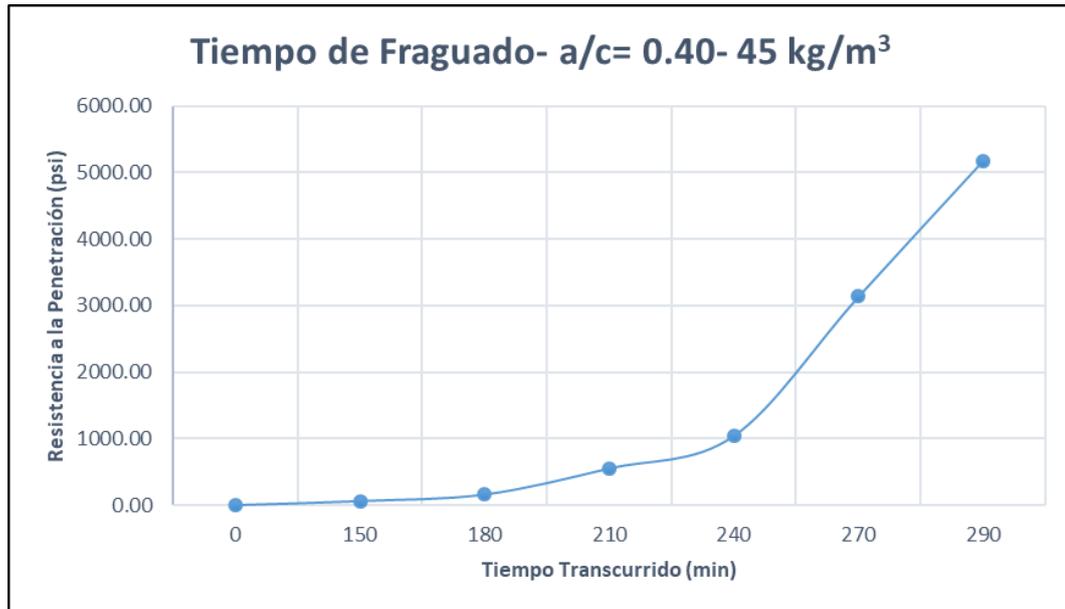
Dosificación 45 kg/m³

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		08:45	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.40-45 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	08:45	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	11:15	02:30	150.00	1 1/16	0.8866	55	54	62.03	60.90	61.47
	11:45	00:30	180.00	3/4	0.4418	71	71	160.71	160.71	160.71
	12:15	00:30	210.00	1/2	0.1963	107	110	544.95	560.23	552.59
	12:45	00:30	240.00	3/8	0.1104	114	116	1032.17	1050.28	1041.23
	13:15	00:30	270.00	1/4	0.0491	158	150	3218.75	3055.77	3137.26
	13:35	00:20	290.00	3/16	0.0276	146	140	5287.62	5070.32	5178.97

Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		09:30	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.45-45 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	09:30	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	12:00	02:30	150.00	1 1/16	0.8866	40	42	45.11	47.37	46.24
	12:30	00:30	180.00	3/4	0.4418	66	68	149.39	153.92	151.66
	13:00	00:30	210.00	1/2	0.1963	89	90	453.27	458.37	455.82
	13:30	00:30	240.00	3/8	0.1104	100	90	905.41	814.87	860.14
	14:00	00:30	270.00	1/4	0.0491	126	134	2566.85	2729.83	2648.34
	14:30	00:30	300.00	3/16	0.0276	138	140	4997.89	5070.32	5034.11

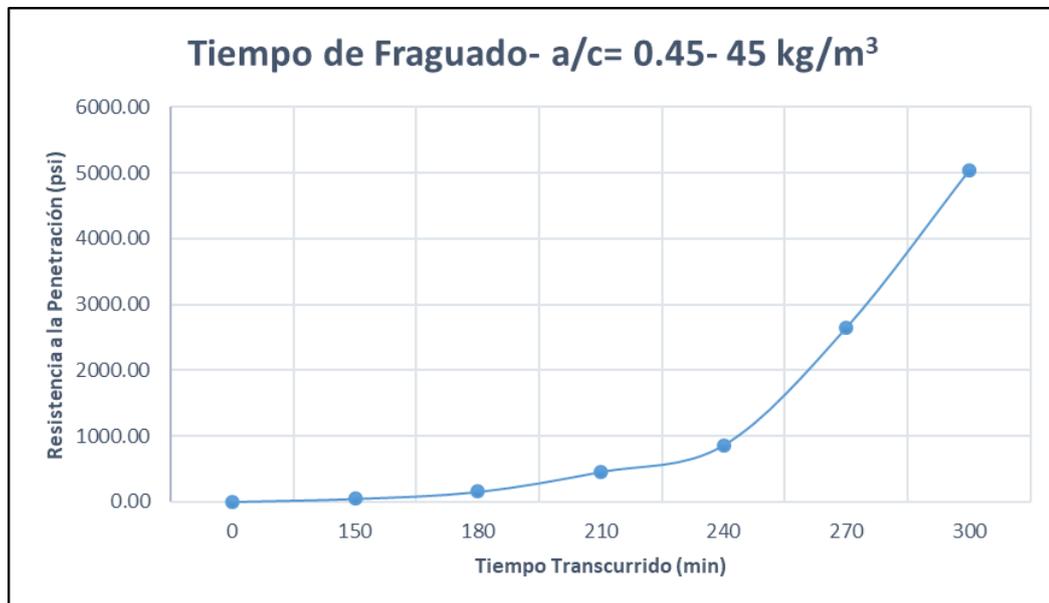
Mezcla a/c	Tiempo Transcurrido			Patrón con fibra						
				Aguja	Área	Fuerza (lib)		Resistencia (lb/pulg ²)		Resistencia
	Hora de Inicio		10:20	Ø (pulg)	Aguja (pulg ²)	(A)	(B)	(A)	(B)	lb/pulg ²
0.50-45 kg/m ³	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado							
	10:20	00:00	0.00	0	0.0000	0	0	0	0	0.00
	12:50	02:30	150.00	1 1/16	0.8866	32	32	36.09	36.09	36.09
	13:20	00:30	180.00	3/4	0.4418	40	48	90.54	108.65	99.60
	13:50	00:30	210.00	1/2	0.1963	68	69	346.32	351.41	348.87
	14:20	00:30	240.00	3/8	0.1104	92	91	832.98	823.93	828.45
	14:50	00:30	270.00	1/4	0.0491	100	98	2037.18	1996.44	2016.81
	15:20	00:30	300.00	3/16	0.0276	120	122	4345.99	4418.42	4382.21

FRAGUA a/c=0.40 – 45 kg/m³



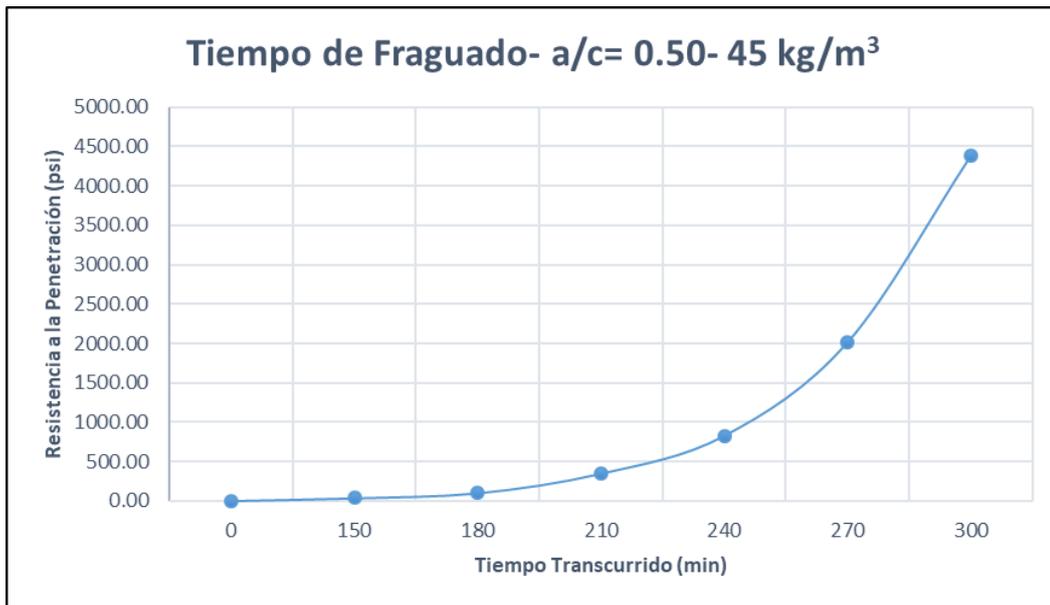
TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 215 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 278 min

FRAGUA a/c=0.45 – 45 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 215 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 288 min

FRAGUA a/c=0.50 – 45 kg/m³



TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 PSI): 224 min
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 PSI): 296 min

ANEXO D

ENSAYO DE CONCRETO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Concreto patrón

a/c= 0.40	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.07	25347.40	79.64	318.26	313.47
		M2	9.99	25383.90	78.38	323.85	
		M3	10.03	23569.00	79.01	298.30	
	14	M4	10.01	25317.00	78.70	321.70	336.78
		M5	10.01	26839.60	78.70	341.05	
		M6	10.02	27408.60	78.85	347.59	
	28	M7	10.25	28949.90	82.52	350.84	345.23
		M8	10.17	29248.10	81.23	360.05	
		M9	10.44	29895.60	85.60	349.23	
		M10	10.28	27356.00	83.00	329.59	
		M11	10.22	27699.90	82.03	337.67	
	42	M12	10.23	28276.40	82.19	344.02	381.71
		M13	9.95	33073.50	77.76	425.35	
		M14	10.00	30038.00	78.54	382.46	
		M15	10.02	26598.80	78.85	337.32	

a/c= 0.45	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.08	23921.70	79.80	299.77	305.87
		M2	10.07	24508.10	79.64	307.72	
		M3	10.06	24649.50	79.49	310.11	
	14	M4	10.02	25419.10	78.85	322.36	321.54
		M5	10.04	25622.60	79.17	323.64	
		M6	10.02	25125.70	78.85	318.63	
	28	M7	10.05	27501.80	79.33	346.69	348.57
		M8	10.05	26945.40	79.33	339.67	
		M9	10.02	27017.60	78.85	342.63	
		M10	10.03	27858.70	79.01	352.59	
		M11	10.06	28169.90	79.49	354.40	
	42	M12	10.04	28137.70	79.17	355.41	365.08
		M13	10.03	28500.90	79.01	360.72	
		M14	10.06	29033.70	79.49	365.27	
M15		10.06	29351.00	79.49	369.26		

a/c= 0.50	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.04	22755.30	79.17	287.43	287.42
		M2	10.01	22855.00	78.70	290.42	
		M3	9.98	22249.70	78.23	284.43	
	14	M4	10.08	22857.60	79.80	286.43	295.08
		M5	10.06	23956.80	79.49	301.40	
		M6	10.03	23498.50	79.01	297.41	
	28	M7	10.02	25261.70	78.85	320.36	317.03
		M8	10.07	25435.20	79.64	319.36	
		M9	10.08	24848.60	79.80	311.38	
		M10	10.08	25246.90	79.80	316.37	
		M11	9.99	25423.40	78.38	324.35	
	42	M12	10.01	24425.80	78.70	310.38	353.32
		M13	10.04	28286.20	79.17	357.29	
		M14	10.05	27946.70	79.33	352.30	
M15		10.05	27795.40	79.33	350.39		

Concreto con fibras

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (15 kg/m³)

a/c= 0.40	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.07	25947.50	79.64	325.80	328.26
		M2	10.06	26104.60	79.49	328.42	
		M3	10.01	26015.30	78.70	330.58	
	14	M4	10.08	27426.20	79.80	343.68	351.89
		M5	10.04	28286.20	79.17	357.29	
		M6	10.05	28137.70	79.33	354.70	
	28	M7	10.04	28286.20	79.17	357.29	364.15
		M8	10.03	29530.10	79.01	373.74	
		M9	10.08	28671.50	79.80	359.29	
		M10	10.03	28150.90	79.01	356.29	
		M11	10.05	28580.10	79.33	360.28	
	42	M12	10.01	29747.60	78.70	378.00	384.21
		M13	10.01	29785.40	78.70	378.48	
		M14	10.02	30606.10	78.85	388.13	
M15		10.02	30437.70	78.85	386.00		

a/c= 0.45	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.33	25494.60	83.81	304.20	319.99
		M2	10.00	25783.50	78.54	328.29	
		M3	10.04	25927.40	79.17	327.49	
	14	M4	10.08	26574.60	79.80	333.01	339.91
		M5	10.06	26389.90	79.49	332.01	
		M6	10.04	28082.40	79.17	354.71	
	28	M7	10.22	29568.70	82.03	360.45	359.82
		M8	10.18	29488.90	81.39	362.30	
		M9	10.07	28659.30	79.64	359.85	
		M10	10.06	28002.40	79.49	352.30	
		M11	10.05	28853.00	79.33	363.72	
	42	M12	10.08	28751.20	79.80	360.28	379.24
		M13	10.09	30883.10	79.96	386.23	
		M14	10.02	29353.90	78.85	372.25	
M15		10.08	30264.40	79.80	379.25		

a/c= 0.50	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	9.93	23457.30	77.44	302.89	304.07
		M2	9.97	24349.60	78.07	311.90	
		M3	10.00	23358.30	78.54	297.41	
	14	M4	10.08	25246.90	79.80	316.37	312.71
		M5	10.08	24052.20	79.80	301.40	
		M6	10.06	25464.00	79.49	320.36	
	28	M7	10.05	27155.10	79.33	342.32	338.16
		M8	10.07	26389.10	79.64	331.34	
		M9	10.08	27556.50	79.80	345.31	
		M10	10.06	26495.20	79.49	333.34	
		M11	10.07	27581.30	79.64	346.31	
	42	M12	10.08	26361.90	79.80	330.34	361.81
		M13	10.04	28602.20	79.17	361.28	
		M14	10.04	28568.90	79.17	360.86	
		M15	10.03	28705.60	79.01	363.31	

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (30 kg/m³)

a/c= 0.40	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.02	26493.60	78.85	335.98	335.38
		M2	10.05	26934.70	79.33	339.54	
		M3	10.01	26018.50	78.70	330.62	
	14	M4	10.07	27924.60	79.64	350.62	357.37
		M5	10.09	28728.10	79.96	359.28	
		M6	10.09	28961.20	79.96	362.20	
	28	M7	10.02	29735.40	78.85	377.09	372.33
		M8	10.06	29296.30	79.49	368.58	
		M9	10.05	29872.70	79.33	376.58	
		M10	10.07	29590.50	79.64	371.54	
		M11	10.03	29119.30	79.01	368.54	
	42	M12	10.02	29308.40	78.85	371.68	390.68
		M13	10.08	30978.30	79.80	388.19	
		M14	10.05	31122.20	79.33	392.33	
		M15	10.09	31306.70	79.96	391.53	

a/c= 0.45	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.09	25284.70	79.96	316.22	322.16
		M2	10.05	25937.50	79.33	326.97	
		M3	10.04	25595.70	79.17	323.30	
	14	M4	10.04	26547.90	79.17	335.33	345.31
		M5	10.03	27677.80	79.01	350.30	
		M6	10.05	27788.40	79.33	350.30	
	28	M7	10.05	28580.10	79.33	360.28	365.27
		M8	10.06	29033.70	79.49	365.27	
		M9	10.07	28535.10	79.64	358.29	
		M10	10.05	29134.30	79.33	367.27	
		M11	10.05	28975.90	79.33	365.27	
	42	M12	10.06	29827.00	79.49	375.25	384.25
		M13	10.08	31024.40	79.80	388.77	
		M14	10.06	30382.30	79.49	382.24	
		M15	10.07	30404.30	79.64	381.76	

a/c= 0.50	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.04	24285.40	79.17	306.75	305.13
		M2	10.05	23857.60	79.33	300.75	
		M3	10.04	24376.40	79.17	307.90	
	14	M4	10.07	26230.00	79.64	329.34	323.69
		M5	10.08	25645.10	79.80	321.36	
		M6	10.07	25514.70	79.64	320.36	
	28	M7	10.06	26971.20	79.49	339.32	341.99
		M8	10.05	27313.40	79.33	344.31	
		M9	10.09	26893.00	79.96	336.33	
		M10	10.02	27780.00	78.85	352.30	
		M11	10.08	27476.90	79.80	344.32	
	42	M12	10.06	26653.90	79.49	335.33	381.91
		M13	10.06	30699.60	79.49	386.23	
		M14	10.05	30401.00	79.33	383.24	
M15		10.07	29965.80	79.64	376.25		

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (45 kg/m³)

a/c= 0.40	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.02	27039.70	78.85	342.91	337.73
		M2	10.06	26618.40	79.49	334.89	
		M3	10.01	26394.70	78.70	335.40	
	14	M4	10.08	29185.30	79.80	365.72	358.51
		M5	10.06	28114.00	79.49	353.70	
		M6	10.04	28193.70	79.17	356.12	
	28	M7	10.05	29081.20	79.33	366.60	376.86
		M8	10.00	30145.00	78.54	383.82	
		M9	10.01	30049.30	78.70	381.84	
		M10	10.00	28596.10	78.54	364.10	
		M11	10.05	29811.90	79.33	375.81	
	42	M12	10.06	30921.20	79.49	389.02	395.24
		M13	10.05	31845.30	79.33	401.44	
		M14	10.03	30982.60	79.01	392.13	
M15		10.08	31294.30	79.80	392.15		

a/c= 0.45	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.05	25823.50	79.33	325.53	326.47
		M2	10.07	26385.40	79.64	331.29	
		M3	10.04	25539.70	79.17	322.60	
	14	M4	10.05	26680.10	79.33	336.33	340.32
		M5	10.08	26680.40	79.80	334.33	
		M6	10.06	27843.80	79.49	350.30	
	28	M7	10.01	28588.40	78.70	363.27	365.27
		M8	10.05	28975.00	79.33	365.26	
		M9	10.00	28374.50	78.54	361.28	
		M10	10.06	29509.70	79.49	371.26	
		M11	10.00	28766.40	78.54	366.27	
		M12	10.07	29012.00	79.64	364.27	
	42	M13	10.04	31209.60	79.17	394.21	390.55
		M14	10.06	31413.50	79.49	395.21	
M15		10.04	30261.50	79.17	382.24		

a/c= 0.50	Días	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	7	M1	10.05	24856.40	79.33	313.34	308.57
		M2	10.23	24195.70	82.19	294.37	
		M3	10.00	24975.60	78.54	318.00	
	14	M4	10.01	25525.40	78.70	324.35	328.34
		M5	10.00	26179.80	78.54	333.33	
		M6	10.03	25864.20	79.01	327.35	
	28	M7	10.04	27654.10	79.17	349.30	348.31
		M8	10.05	27630.10	79.33	348.31	
		M9	10.04	27812.10	79.17	351.30	
		M10	10.07	28296.70	79.64	355.29	
		M11	10.08	27397.20	79.80	343.32	
	42	M12	10.05	27155.10	79.33	342.32	384.23
		M13	10.06	30223.60	79.49	380.24	
		M14	10.04	30261.50	79.17	382.24	
		M15	10.06	31016.90	79.49	390.22	

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Concreto patrón

a/c= 0.40	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.02	10355.60	20.55	32.02	32.37
	M2	10.05	10919.80	20.81	33.24	
	M3	10.04	10384.20	20.46	32.18	
	M4	10.03	10508.50	20.54	32.47	
	M5	10.05	10428.90	20.47	32.27	
	M6	10.02	10385.90	20.60	32.03	

a/c= 0.45	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.07	10792.90	20.64	33.06	32.43
	M2	10.07	10720.30	20.68	32.77	
	M3	10.09	10609.10	20.74	32.27	
	M4	10.10	10504.10	20.65	32.06	
	M5	9.95	10221.90	20.43	32.01	
	M6	10.03	10539.10	20.66	32.38	

a/c= 0.50	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.05	7915.00	20.65	24.28	24.86
	M2	10.05	8149.90	20.64	25.01	
	M3	10.02	7956.80	20.65	24.48	
	M4	10.14	8518.60	20.67	25.87	
	M5	9.96	8177.30	20.64	25.32	
	M6	10.01	7846.70	20.61	24.21	

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (15 kg/m³)

a/c= 0.40	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.07	11335.80	20.42	35.10	34.72
	M2	10.05	11283.80	20.52	34.83	
	M3	10.09	11231.50	20.52	34.53	
	M4	10.03	11111.00	20.58	34.27	
	M5	10.10	11434.00	20.77	34.70	
	M6	10.01	11189.40	20.41	34.87	

a/c= 0.45	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.06	11808.80	20.60	36.28	35.91
	M2	10.08	11780.10	20.68	35.98	
	M3	10.04	11641.30	20.64	35.76	
	M4	10.04	11531.70	20.69	35.34	
	M5	10.06	11731.50	20.64	35.97	
	M6	10.04	11694.30	20.53	36.12	

a/c= 0.50	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.03	10352.30	20.65	31.82	30.97
	M2	9.95	10148.40	20.37	31.88	
	M3	10.01	9832.50	20.44	30.59	
	M4	10.05	9776.90	20.68	29.95	
	M5	10.04	9887.20	20.64	30.37	
	M6	10.06	10233.00	20.73	31.24	

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (30 kg/m³)

a/c= 0.40	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.00	11795.40	20.65	36.36	36.94
	M2	10.01	11895.70	20.55	36.81	
	M3	9.92	11393.70	20.26	36.09	
	M4	10.08	12382.10	20.60	37.96	
	M5	10.07	11982.20	20.57	36.83	
	M6	10.08	12247.60	20.58	37.59	

a/c= 0.45	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.10	11531.30	20.73	35.06	35.79
	M2	10.08	12077.60	20.70	36.85	
	M3	10.08	11575.80	20.70	35.32	
	M4	10.05	11553.50	20.45	35.79	
	M5	10.03	11792.00	20.84	35.91	
	M6	10.04	11669.20	20.65	35.83	

a/c= 0.50	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.09	10520.40	20.67	32.11	32.67
	M2	10.10	10681.80	20.61	32.67	
	M3	10.08	10932.90	20.66	33.42	
	M4	10.06	10739.40	20.70	32.83	
	M5	10.08	10600.30	20.68	32.37	
	M6	10.06	10638.70	20.64	32.62	

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (45 kg/m³)

a/c= 0.40	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.04	12355.80	20.47	38.27	38.35
	M2	10.04	12408.90	20.63	38.14	
	M3	10.03	12509.30	20.47	38.79	
	M4	10.12	12506.10	20.63	38.13	
	M5	10.10	12489.40	20.58	38.25	
	M6	10.09	12673.70	20.77	38.50	

a/c= 0.45	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.06	12012.10	20.70	36.72	36.74
	M2	10.05	11847.40	20.68	36.29	
	M3	10.10	11878.20	20.70	36.17	
	M4	10.04	11786.10	20.54	36.38	
	M5	10.06	12347.40	20.73	37.69	
	M6	10.04	11962.90	20.39	37.20	

a/c= 0.50	Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
	M1	10.11	11571.20	20.85	34.95	34.78
	M2	10.07	11347.20	20.69	34.67	
	M3	10.06	11248.10	20.77	34.27	
	M4	10.03	11229.80	20.42	34.91	
	M5	9.98	11147.20	20.33	34.98	
	M6	9.96	11155.60	20.42	34.92	

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Concreto Patrón

Diseño	PROBETA	L (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (kg)	M. ROTURA (kg/cm ²)
a/c= 0.40	M1	51.20	15.50	15.10	4900.00	64.05
a/c= 0.45	M2	50.90	15.00	15.40	4600.00	59.35
a/c= 0.50	M3	51.40	15.00	15.30	4000.00	52.86

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (15 kg/m³)

Diseño	PROBETA	L (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (kg)	M. ROTURA (kg/cm ²)
a/c= 0.40	M4	51.30	14.90	15.20	4820.00	64.83
a/c= 0.45	M5	51.20	15.00	15.10	4580.00	61.87
a/c= 0.50	M6	50.80	15.00	14.90	4280.00	58.86

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (30 kg/m³)

Diseño	PROBETA	L (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (kg)	M. ROTURA (kg/cm ²)
a/c= 0.40	M7	51.30	14.70	15.20	4980.00	67.89
a/c= 0.45	M8	50.90	15.30	14.90	4620.00	62.43
a/c= 0.50	M9	51.40	15.40	15.00	4460.00	59.72

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (45 kg/m³)

Diseño	PROBETA	L (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (kg)	M. ROTURA (kg/cm ²)
a/c= 0.40	M10	51.30	15.30	14.80	5020.00	69.35
a/c= 0.45	M11	51.00	15.00	15.10	4940.00	66.44
a/c= 0.50	M12	51.20	15.50	15.00	4860.00	64.38

MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO (MEE)

Concreto patrón (a/c= 0.40)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.20	181.46	20.30	0.00	0.00000
2000	0.00015	0.00038	15.20	181.46	20.30	11.02	0.00002
4000	0.00025	0.00064	15.20	181.46	20.30	22.04	0.00003
6000	0.00040	0.00102	15.20	181.46	20.30	33.07	0.00005
8000	0.00050	0.00127	15.20	181.46	20.30	44.09	0.00006
10000	0.00075	0.00191	15.20	181.46	20.30	55.11	0.00009
12000	0.00115	0.00292	15.20	181.46	20.30	66.13	0.00014
14000	0.00135	0.00343	15.20	181.46	20.30	77.15	0.00017
16000	0.00170	0.00432	15.20	181.46	20.30	88.17	0.00021
18000	0.00200	0.00508	15.20	181.46	20.30	99.20	0.00025
20000	0.00245	0.00622	15.20	181.46	20.30	110.22	0.00031
22000	0.00270	0.00686	15.20	181.46	20.30	121.24	0.00034
24000	0.00300	0.00762	15.20	181.46	20.30	132.26	0.00038

Carga max (kgf)=	60000
$\sigma_{100\%}$ =	330.65
$\sigma_{40\%}$ =	132.26
$\epsilon_{40\%}$ =	0.00038
σ_1 =	38.53
ϵ_1 =	0.00005
Módulo Elástico Estático [kgf/cm ²]	288,068.78

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (15 kg/m³)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)	Carga max (kgf)=			
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)			$\sigma_{100\%}$	$\sigma_{40\%}$	$\epsilon_{40\%}$	σ_1
0	0.0000	0.0000	15.10	179.08	20.20	0.00	0.00000	65000	$\sigma_{100\%}$	362.97	
2000	0.00010	0.00025	15.10	179.08	20.20	11.17	0.00001	145.19	$\sigma_{40\%}$	145.19	
4000	0.00015	0.00038	15.10	179.08	20.20	22.34	0.00002	0.00028	$\epsilon_{40\%}$	0.00028	
6000	0.00025	0.00064	15.10	179.08	20.20	33.50	0.00003	77.65	σ_1	77.65	
8000	0.00030	0.00076	15.10	179.08	20.20	44.67	0.00004	0.00005	ϵ_1	0.00005	
10000	0.00040	0.00102	15.10	179.08	20.20	55.84	0.00005				
12000	0.00060	0.00152	15.10	179.08	20.20	67.01	0.00008				
14000	0.00080	0.00203	15.10	179.08	20.20	78.18	0.00010				
16000	0.00100	0.00254	15.10	179.08	20.20	89.35	0.00013				
18000	0.00125	0.00318	15.10	179.08	20.20	100.51	0.00016				
20000	0.00145	0.00368	15.10	179.08	20.20	111.68	0.00018				
22000	0.00170	0.00432	15.10	179.08	20.20	122.85	0.00021				
24000	0.00190	0.00483	15.10	179.08	20.20	134.02	0.00024				
26000	0.0022	0.005588	15.10	179.08	20.20	145.19	0.00028				
							Módulo Elástico	Estático [kgf/cm²]			298,002.08

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (30 kg/m³)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.00	176.71	20.15	0.00	0.00000
2000	0.00010	0.00025	15.00	176.71	20.15	11.32	0.00001
4000	0.00015	0.00038	15.00	176.71	20.15	22.64	0.00002
6000	0.00025	0.00064	15.00	176.71	20.15	33.95	0.00003
8000	0.00030	0.00076	15.00	176.71	20.15	45.27	0.00004
10000	0.00045	0.00114	15.00	176.71	20.15	56.59	0.00006
12000	0.00065	0.00165	15.00	176.71	20.15	67.91	0.00008
14000	0.00085	0.00216	15.00	176.71	20.15	79.22	0.00011
16000	0.00100	0.00254	15.00	176.71	20.15	90.54	0.00013
18000	0.00125	0.00318	15.00	176.71	20.15	101.86	0.00016
20000	0.00145	0.00368	15.00	176.71	20.15	113.18	0.00018
22000	0.00170	0.00432	15.00	176.71	20.15	124.49	0.00021
24000	0.00190	0.00483	15.00	176.71	20.15	135.81	0.00024
26000	0.00220	0.00559	15.00	176.71	20.15	147.13	0.00028
28000	0.00250	0.00635	15.00	176.71	20.15	158.45	0.00032

Carga max (kgf)=	67000
$\sigma_{100\%} =$	379.14
$\sigma_{40\%} =$	158.45
$\epsilon_{40\%} =$	0.00032
$\sigma_1 =$	78.47
$\epsilon_1 =$	0.00005

Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	301,660.78
------------------------------------------------------	------------

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (45 kg/m³)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.15	180.27	20.25	0.00	0.00000
2000	0.00010	0.00025	15.15	180.27	20.25	11.09	0.00001
4000	0.00015	0.00038	15.15	180.27	20.25	22.19	0.00002
6000	0.00025	0.00064	15.15	180.27	20.25	33.28	0.00003
8000	0.00030	0.00076	15.15	180.27	20.25	44.38	0.00004
10000	0.00045	0.00114	15.15	180.27	20.25	55.47	0.00006
12000	0.00060	0.00152	15.15	180.27	20.25	66.57	0.00008
14000	0.00080	0.00203	15.15	180.27	20.25	77.66	0.00010
16000	0.00095	0.00241	15.15	180.27	20.25	88.76	0.00012
18000	0.00115	0.00292	15.15	180.27	20.25	99.85	0.00014
20000	0.00135	0.00343	15.15	180.27	20.25	110.95	0.00017
22000	0.00160	0.00406	15.15	180.27	20.25	122.04	0.00020
24000	0.00190	0.00483	15.15	180.27	20.25	133.14	0.00024
26000	0.00215	0.00546	15.15	180.27	20.25	144.23	0.00027

Carga max (kgf)=	65000
$\sigma_{100\%} =$	360.58
$\sigma_{40\%} =$	144.23
$\epsilon_{40\%} =$	0.00027
$\sigma_1 =$	77.36
$\epsilon_1 =$	0.00005
Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	304,416.20

Concreto patrón (a/c= 0.45)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.30	183.85	20.20	0.00	0.00000
2000	0.00015	0.00038	15.30	183.85	20.20	10.88	0.00002
4000	0.00025	0.00064	15.30	183.85	20.20	21.76	0.00003
6000	0.00040	0.00102	15.30	183.85	20.20	32.63	0.00005
8000	0.00060	0.00152	15.30	183.85	20.20	43.51	0.00008
10000	0.00085	0.00216	15.30	183.85	20.20	54.39	0.00011
12000	0.00120	0.00305	15.30	183.85	20.20	65.27	0.00015
14000	0.00145	0.00368	15.30	183.85	20.20	76.15	0.00018
16000	0.00180	0.00457	15.30	183.85	20.20	87.03	0.00023
18000	0.00210	0.00533	15.30	183.85	20.20	97.90	0.00026
20000	0.00255	0.00648	15.30	183.85	20.20	108.78	0.00032
22000	0.00285	0.00724	15.30	183.85	20.20	119.66	0.00036
24000	0.00315	0.00800	15.30	183.85	20.20	130.54	0.00040

Carga max (kgf)=	60000
$\sigma_{100\%} =$	326.35
$\sigma_{40\%} =$	130.54
$\epsilon_{40\%} =$	0.00040
$\sigma_1 =$	37.82
$\epsilon_1 =$	0.00005
Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	267,912.83

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (15 kg/m³)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.0000	0.0000	15.20	181.46	20.30	0.00	0.00000
2000	0.0015	0.0038	15.20	181.46	20.30	11.02	0.00002
4000	0.0025	0.0064	15.20	181.46	20.30	22.04	0.00003
6000	0.0040	0.0102	15.20	181.46	20.30	33.07	0.00005
8000	0.0070	0.0178	15.20	181.46	20.30	44.09	0.00009
10000	0.0100	0.0254	15.20	181.46	20.30	55.11	0.00013
12000	0.0125	0.0318	15.20	181.46	20.30	66.13	0.00016
14000	0.0160	0.0406	15.20	181.46	20.30	77.15	0.00020
16000	0.0190	0.0483	15.20	181.46	20.30	88.17	0.00024
18000	0.0220	0.0559	15.20	181.46	20.30	99.20	0.00028
20000	0.0260	0.0660	15.20	181.46	20.30	110.22	0.00033
22000	0.0290	0.0737	15.20	181.46	20.30	121.24	0.00036
24000	0.0320	0.0813	15.20	181.46	20.30	132.26	0.00040
26000	0.0035	0.00889	15.20	181.46	20.30	143.28	0.00044

Carga max (kgf)=	64000
$\sigma_{100\%}$ =	352.70
$\sigma_{40\%}$ =	143.28
$\epsilon_{40\%}$ =	0.00044
σ_1 =	38.53
ϵ_1 =	0.00005

Módulo Elástico Estático [kgf/cm ²]	270,023.75
-------------------------------------------------	------------

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (30 kg/m³)

Carga max (kgf)=	65000
$\sigma_{100\%} =$	355.86
$\sigma_{40\%} =$	142.35
$\epsilon_{40\%} =$	0.00029
$\sigma_1 =$	76.13
$\epsilon_1 =$	0.00005

Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	276,810.38
------------------------------------------------------	------------

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto				Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)			
0	0.00000	0.00000	15.25	182.65	20.20	0.00	0.00000	
2000	0.00010	0.00025	15.25	182.65	20.20	10.95	0.00001	
4000	0.00015	0.00038	15.25	182.65	20.20	21.90	0.00002	
6000	0.00025	0.00064	15.25	182.65	20.20	32.85	0.00003	
8000	0.00030	0.00076	15.25	182.65	20.20	43.80	0.00004	
10000	0.00045	0.00114	15.25	182.65	20.20	54.75	0.00006	
12000	0.00065	0.00165	15.25	182.65	20.20	65.70	0.00008	
14000	0.00080	0.00203	15.25	182.65	20.20	76.65	0.00010	
16000	0.00100	0.00254	15.25	182.65	20.20	87.60	0.00013	
18000	0.00130	0.00330	15.25	182.65	20.20	98.55	0.00016	
20000	0.00155	0.00394	15.25	182.65	20.20	109.50	0.00019	
22000	0.00180	0.00457	15.25	182.65	20.20	120.45	0.00023	
24000	0.00200	0.00508	15.25	182.65	20.20	131.40	0.00025	
26000	0.0023	0.005842	15.25	182.65	20.20	142.35	0.00029	

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (45 kg/m³)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.10	179.08	20.25	0.00	0.00000
2000	0.00010	0.00025	15.10	179.08	20.25	11.17	0.00001
4000	0.00015	0.00038	15.10	179.08	20.25	22.34	0.00002
6000	0.00020	0.00051	15.10	179.08	20.25	33.50	0.00003
8000	0.00035	0.00089	15.10	179.08	20.25	44.67	0.00004
10000	0.00050	0.00127	15.10	179.08	20.25	55.84	0.00006
12000	0.00070	0.00178	15.10	179.08	20.25	67.01	0.00009
14000	0.00090	0.00229	15.10	179.08	20.25	78.18	0.00011
16000	0.00105	0.00267	15.10	179.08	20.25	89.35	0.00013
18000	0.00120	0.00305	15.10	179.08	20.25	100.51	0.00015
20000	0.00145	0.00368	15.10	179.08	20.25	111.68	0.00018
22000	0.00170	0.00432	15.10	179.08	20.25	122.85	0.00021
24000	0.00200	0.00508	15.10	179.08	20.25	134.02	0.00025
26000	0.00225	0.005715	15.10	179.08	20.25	145.19	0.00028

Carga max (kgf)=	65000
$\sigma_{100\%} =$	362.97
$\sigma_{40\%} =$	145.19
$\epsilon_{40\%} =$	0.00028
$\sigma_1 =$	77.87
$\epsilon_1 =$	0.00005
Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	289,883.78

Concreto patrón (a/c= 0.50)

Carga max (kgf)	= 55000
$\sigma_{100\%}$	= 307.13
$\sigma_{40\%}$	= 122.85
$\epsilon_{40\%}$	= 0.00041
σ_1	= 25.88
ϵ_1	= 0.00005

Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	265,700.75
------------------------------------------------------	-------------------

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.10	179.08	20.20	0.00	0.00000
2000	0.00020	0.00051	15.10	179.08	20.20	11.17	0.00003
4000	0.00035	0.00089	15.10	179.08	20.20	22.34	0.00004
6000	0.00050	0.00127	15.10	179.08	20.20	33.50	0.00006
8000	0.00080	0.00203	15.10	179.08	20.20	44.67	0.00010
10000	0.00105	0.00267	15.10	179.08	20.20	55.84	0.00013
12000	0.00145	0.00368	15.10	179.08	20.20	67.01	0.00018
14000	0.00175	0.00445	15.10	179.08	20.20	78.18	0.00022
16000	0.00210	0.00533	15.10	179.08	20.20	89.35	0.00026
18000	0.00250	0.00635	15.10	179.08	20.20	100.51	0.00031
20000	0.00295	0.00749	15.10	179.08	20.20	111.68	0.00037
22000	0.00330	0.00838	15.10	179.08	20.20	122.85	0.00041

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (15 kg/m³)

Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.00	176.71	20.10	0.00	0.00000
2000	0.00010	0.00025	15.00	176.71	20.10	11.32	0.00001
4000	0.00015	0.00038	15.00	176.71	20.10	22.64	0.00002
6000	0.00025	0.00064	15.00	176.71	20.10	33.95	0.00003
8000	0.00030	0.00076	15.00	176.71	20.10	45.27	0.00004
10000	0.00045	0.00114	15.00	176.71	20.10	56.59	0.00006
12000	0.00065	0.00165	15.00	176.71	20.10	67.91	0.00008
14000	0.00085	0.00216	15.00	176.71	20.10	79.22	0.00011
16000	0.00105	0.00267	15.00	176.71	20.10	90.54	0.00013
18000	0.00130	0.00330	15.00	176.71	20.10	101.86	0.00016
20000	0.00150	0.00381	15.00	176.71	20.10	113.18	0.00019
22000	0.00175	0.00445	15.00	176.71	20.10	124.49	0.00022

Carga max (kgf)	55000
$\sigma_{100\%}$	311.24
$\sigma_{40\%}$	124.49
$\epsilon_{40\%}$	0.00022
σ_1	78.24
ϵ_1	0.00005

Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	270,245.73
------------------------------------------------------	------------

Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (30 kg/m³)

Carga max (kgf)=	60000
$\sigma_{100\%} =$	330.65
$\sigma_{40\%} =$	132.26
$\epsilon_{40\%} =$	0.00024
$\sigma_1 =$	77.07
$\epsilon_1 =$	0.00005

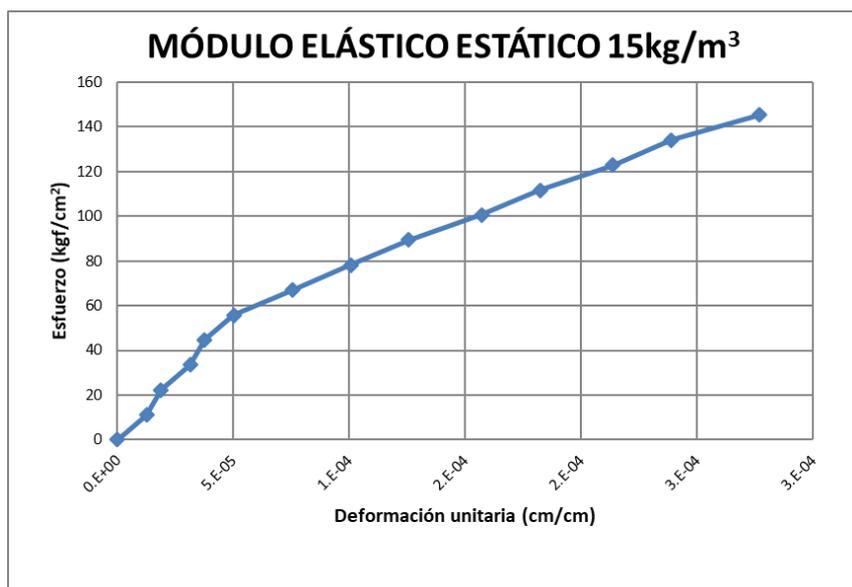
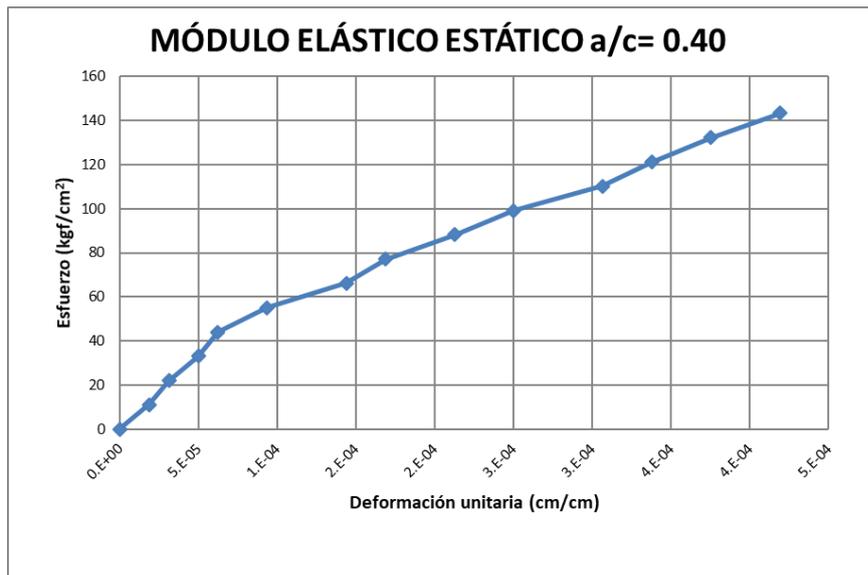
Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	284,529.08
------------------------------------------------------	------------

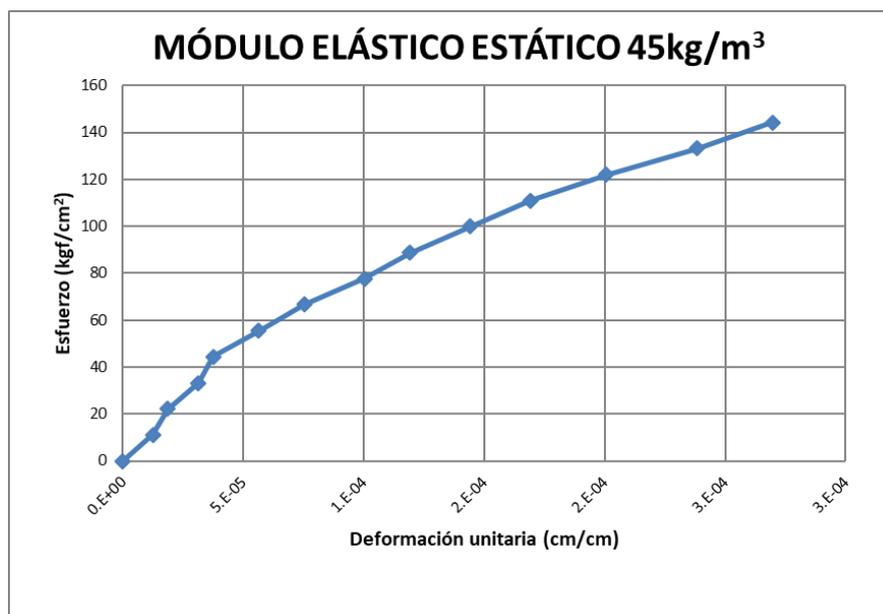
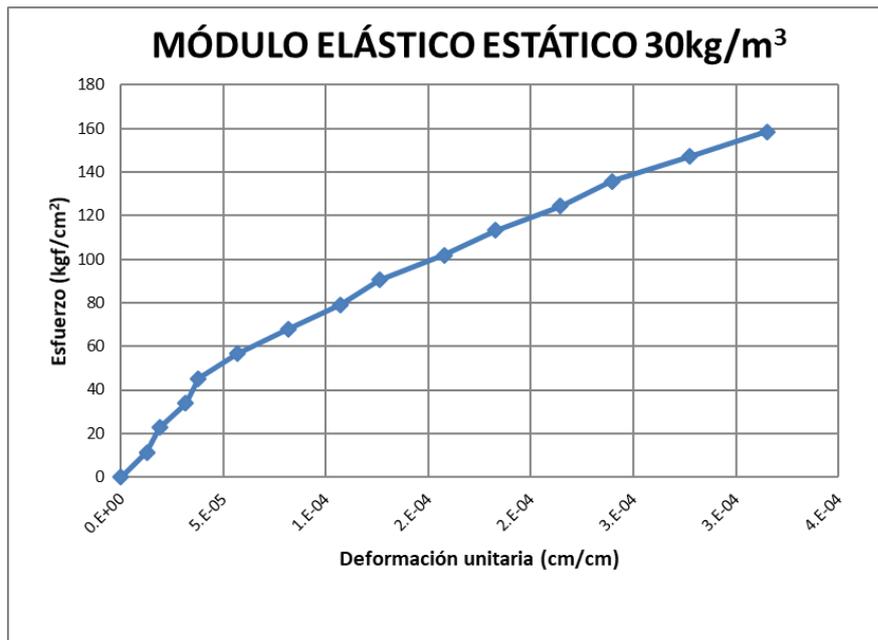
Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.20	181.46	20.30	0.00	0.00000
2000	0.00010	0.00025	15.20	181.46	20.30	11.02	0.00001
4000	0.00015	0.00038	15.20	181.46	20.30	22.04	0.00002
6000	0.00030	0.00076	15.20	181.46	20.30	33.07	0.00004
8000	0.00040	0.00102	15.20	181.46	20.30	44.09	0.00005
10000	0.00050	0.00127	15.20	181.46	20.30	55.11	0.00006
12000	0.00070	0.00178	15.20	181.46	20.30	66.13	0.00009
14000	0.00090	0.00229	15.20	181.46	20.30	77.15	0.00011
16000	0.00105	0.00267	15.20	181.46	20.30	88.17	0.00013
18000	0.00130	0.00330	15.20	181.46	20.30	99.20	0.00016
20000	0.00150	0.00381	15.20	181.46	20.30	110.22	0.00019
22000	0.00175	0.00445	15.20	181.46	20.30	121.24	0.00022
24000	0.00195	0.00495	15.20	181.46	20.30	132.26	0.00024

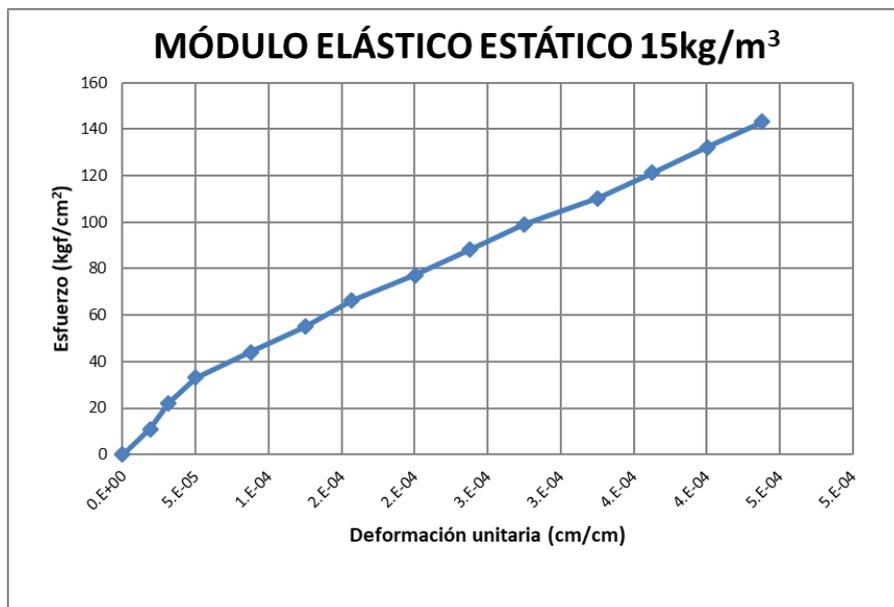
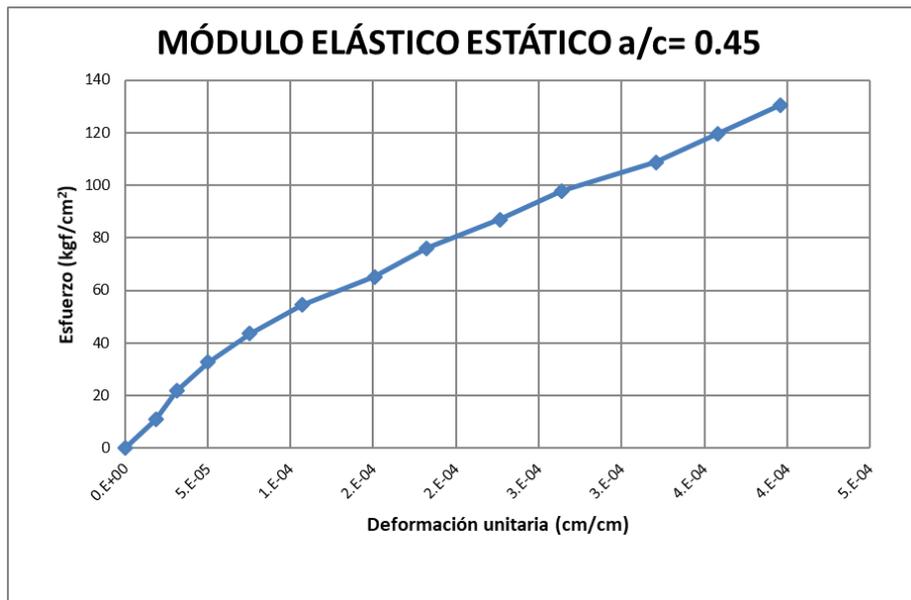
Fibra de acero Sika Fiber CHO 80/60 NB (45 kg/m³)

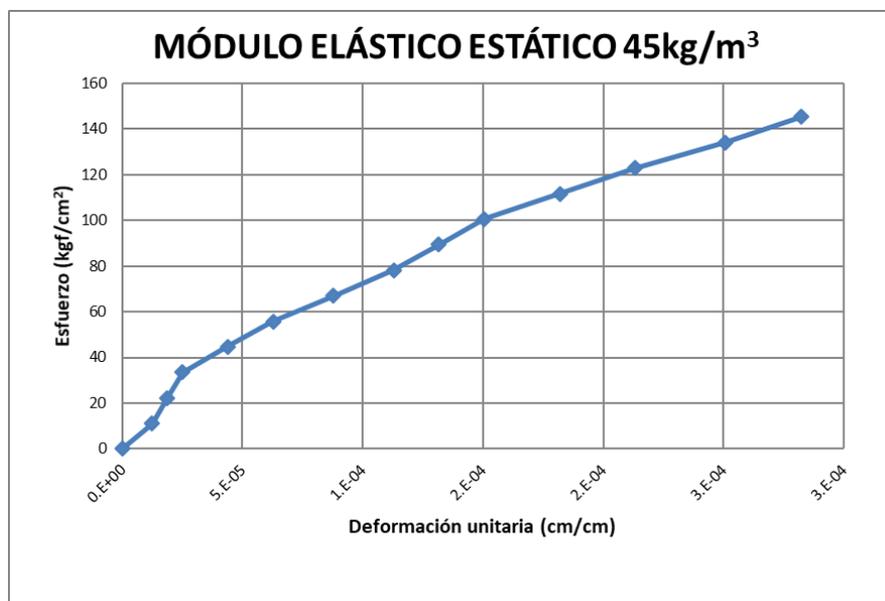
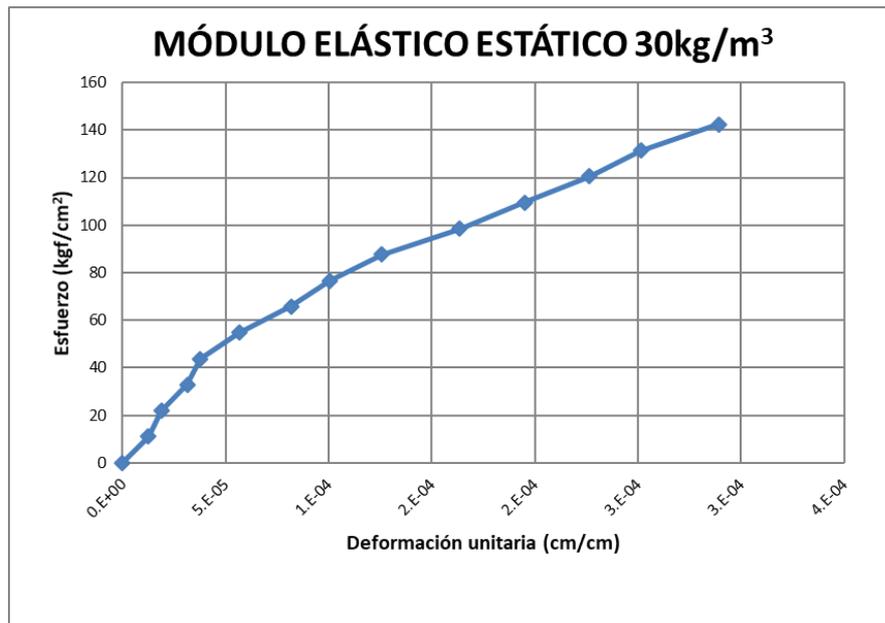
Fuerza (kgf)	Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)		
0	0.00000	0.00000	15.10	179.08	20.20	0.00	0.00000
2000	0.00010	0.00025	15.10	179.08	20.20	11.17	0.00001
4000	0.00015	0.00038	15.10	179.08	20.20	22.34	0.00002
6000	0.00020	0.00051	15.10	179.08	20.20	33.50	0.00003
8000	0.00030	0.00076	15.10	179.08	20.20	44.67	0.00004
10000	0.00045	0.00114	15.10	179.08	20.20	55.84	0.00006
12000	0.00060	0.00152	15.10	179.08	20.20	67.01	0.00008
14000	0.00080	0.00203	15.10	179.08	20.20	78.18	0.00010
16000	0.00100	0.00254	15.10	179.08	20.20	89.35	0.00013
18000	0.00120	0.00305	15.10	179.08	20.20	100.51	0.00015
20000	0.00140	0.00356	15.10	179.08	20.20	111.68	0.00018
22000	0.00165	0.00419	15.10	179.08	20.20	122.85	0.00021
24000	0.00195	0.00495	15.10	179.08	20.20	134.02	0.00025

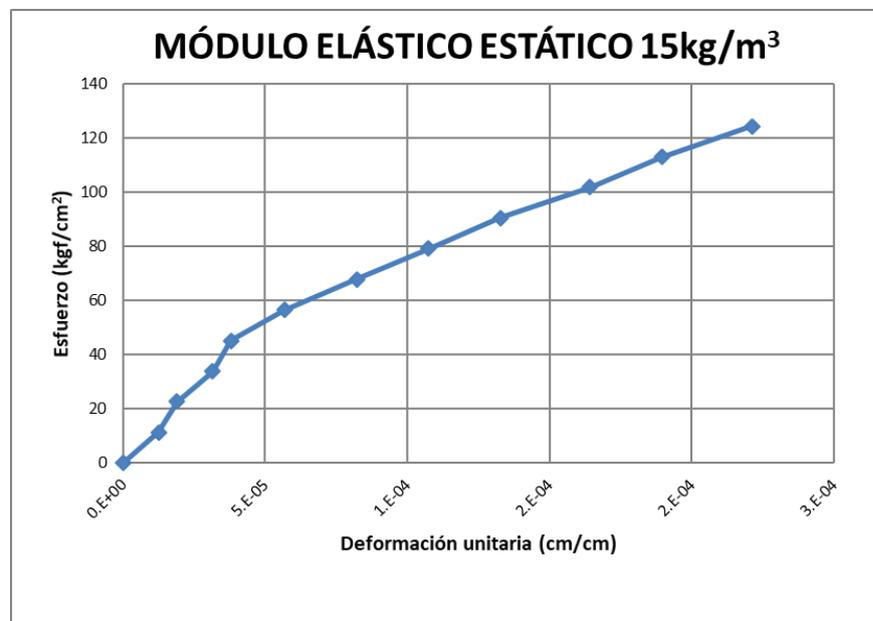
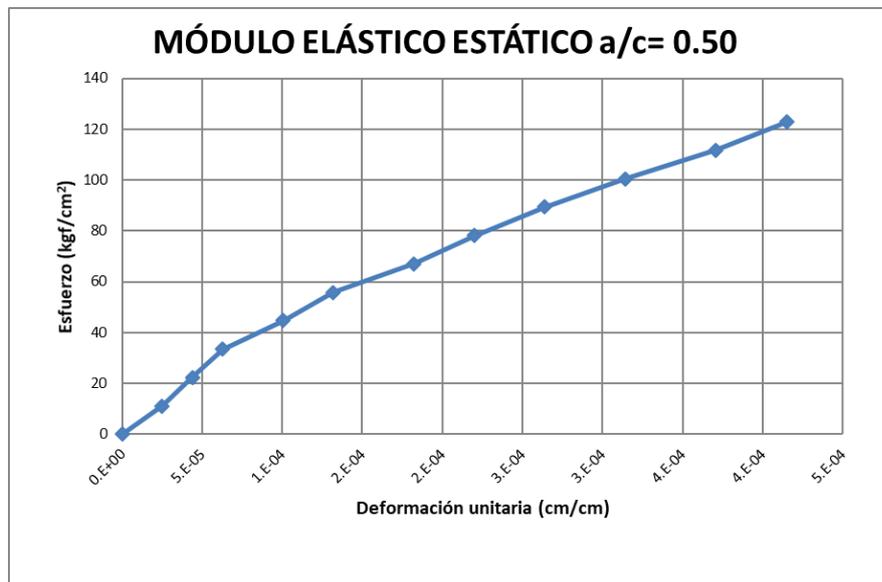
Carga max (kgf)=	60000
$\sigma_{100\%} =$	335.05
$\sigma_{40\%} =$	134.02
$\epsilon_{40\%} =$	0.00025
$\sigma_1 =$	77.65
$\epsilon_1 =$	0.00005
Módulo Elástico Estático [kgf/cm ²]	288,778.68

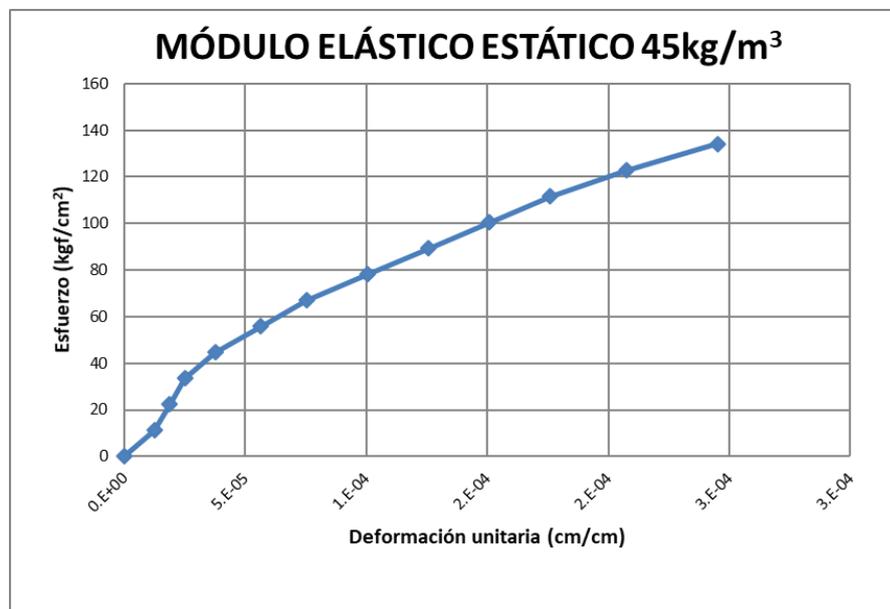
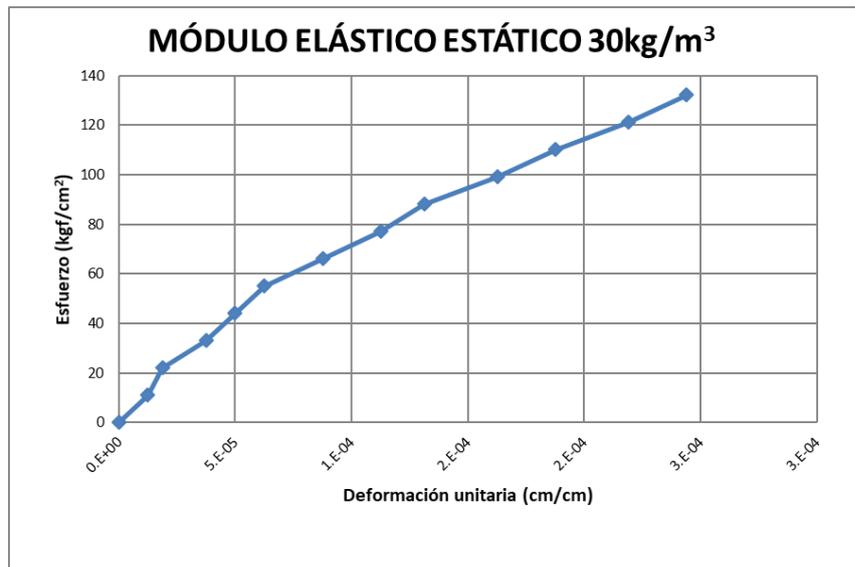












ANEXO E

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1: Almacenamiento de los Agregados (LEM)



Fotografía 2: Instalaciones del Laboratorio (LEM)



Fotografía 3: Ensayo de Cono de Abrams



Fotografía 4: Ensayo de Cono de Abrams



Fotografía 5: Ensayo de Peso Unitario



Fotografía 6: Ensayo de Peso Unitario



Fotografía 7: Ensayo de Exudación



Fotografía 8: Ensayo de Exudación



Fotografía 9: Ensayo de Contenido de Aire



Fotografía 10: Ensayo de Contenido de Aire



Fotografía 11: Ensayo de Tiempo de Fragua



Fotografía 12: Ensayo de Tiempo de Fragua



Fotografía 13: Probetas para los ensayos a Compresión y Tracción



Fotografía 14: Pozo de curado para las probetas



Fotografía 15: Probetas para los ensayos de Módulo Elástico Estático



Fotografía 16: Vigas para los ensayos de Flexión



Fotografía 17: Ensayo a la Compresión



Fotografía 18: Ensayo a la Compresión



Fotografía 19: Ensayo a la Flexión



Fotografía 20: Ensayo a la Flexión