



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

**CARACTERIZACIÓN DE RESISTENCIA AL CORTE DEL CONCRETO
MEDIANTE ENSAYOS TIPO LUONG**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

CARLOS ALBERTO RUELAS LÓPEZ

TUTOR PRINCIPAL:

DR. CARLOS MÁXIMO AIRE UNTIVEROS

MÉXICO, D. F. JUNIO 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Carlos Javier Mendoza Escobedo

Secretario: M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas

Vocal: Dr. Carlos Máximo Aire Untiveros

1er. Suplente: Ing. Juan Luis Cottier Caviedes

2do. Suplente: M.I. Carlos Narcia Morales

Lugar donde se realizó la tesis:

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM, CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Máximo Aire Untiveros

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme esta oportunidad de desarrollarme profesionalmente y por brindarme salud en todo momento.

A mis Padres María Luisa López y José Luis Ruelas por otorgarme todo su apoyo y su cariño, en especial a mi madre que siempre estuvo al pendiente de mí con todo su amor dándome la fuerza y motivación necesaria para seguir adelante, además por confiar en mí.

A mis Hermanos Juan Luis Ruelas y Gabriela Ruelas por ofrecerme en todo momento su cariño de hermanos y estar al pendiente de mí.

A la Familia Jasso López por brindarme un hogar y un apoyo incondicional. A mi tía Guadalupe López que me ofreció su cariño y cuidados, así como también a mis primos Juan, Diana y Jaime Jasso que fueron como hermanos en esta etapa de mi vida. A mi tía Hilaria López por estar al pendiente ofreciéndome todo su apoyo.

A mi tutor el Dr. Carlos Aire Untiveros por guiarme y por transmitirme parte de su conocimiento, por su paciencia y entusiasmo en todo el tiempo que se desarrolló este trabajo. A mis sinodales por brindarme su punto de vista y dedicar un poco de su tiempo para revisar este trabajo, además de enriquecer este trabajo con sus valiosas opiniones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por la excelente formación académica que he recibido durante el desarrollo de mi Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico durante el transcurso de mis estudios de posgrado.

Al Instituto De Ingeniería y personal de laboratorio de estructuras y materiales Raymundo, Yusef, Agustín, Ismael y Salomón por su participación dentro del proyecto, debido a que sin ellos no se hubiera podido llevar a cabo este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN

CAPÍTULO 1	1
1. MARCO DE REFERENCIA	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 HIPÓTESIS	6
1.5 OBJETIVOS	6
1.6 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7 JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPÍTULO 2	8
2. ESTADO DEL ARTE DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL CONCRETO	8
2.1 INTRODUCCIÓN.....	8
2.2 RESISTENCIA AL CORTE DEL CONCRETO	8
2.3 MÉTODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR RESISTENCIA AL CORTE	9
2.3.1 <i>Ensayo Push-Off</i>	9
2.3.2 <i>Ensayo JSCE-SF6</i>	11
2.3.3 <i>Viga losipescu</i>	12
2.3.4 <i>Ensayo tipo Luong</i>	12
CAPÍTULO 3	14
3. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	14
3.1 INTRODUCCIÓN.....	14
3.2 ENSAYO TIPO LUONG	15
3.3 ENSAYO DE CORTE EN PRISMAS	17
3.4 PROGRAMA EXPERIMENTAL	18
3.5 DISEÑO DE MEZCLAS	19
3.5.1 <i>Materiales</i>	19
3.5.1.1 Cemento.....	19
3.5.1.2 Agregados.....	19
3.5.1.3 Agua.....	20
3.5.1.4 Fibras de acero.....	20
3.5.1.5 Aditivo	20
3.5.2 <i>Dosificación</i>	21
3.5.3 <i>Corrección por humedad de agregados</i>	21
3.5.4 <i>Equipo</i>	23
3.5.5 <i>Procedimiento de fabricación de concretos</i>	23
3.5.5.1 Dosificación de materiales.....	23
3.5.5.2 Preparación de moldes.....	24
3.5.5.3 Fabricación, moldeado, vibrado y enrasado de especímenes	24
3.5.6 <i>Pruebas en estado fresco</i>	27
3.6 ALMACENAMIENTO Y CURADO DE ESPECÍMENES	28
3.7 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES	28
3.7.1 <i>Especímenes para ensayos a compresión</i>	29
3.7.2 <i>Especímenes para ensayos tipo Luong</i>	29
3.8 NOMENCLATURA DE ESPECÍMENES	30
3.8.1 <i>Especímenes de compresión</i>	30

3.8.2	<i>Especímenes para ensayos tipo Luong</i>	30
3.8.3	<i>Especímenes tipo bloque "Z" para ensayos de corte</i>	31
3.9	REGISTRO DE MEDICIONES DE ESPECÍMENES	32
3.9.1	<i>Mediciones en probetas tipo Luong</i>	32
3.9.2	<i>Mediciones en bloque tipo "Z"</i>	33
3.9.3	<i>Mediciones en cilindros de compresión</i>	34
3.10	IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS.....	35
3.10.1	<i>Introducción</i>	35
3.10.2	<i>Actividades previas</i>	35
3.10.2.1	Fabricación de anillos de carga	35
3.10.2.2	Calibración de equipo de instrumentación	36
3.10.3	<i>Equipo</i>	37
3.10.3.1	Prensa MTS.....	37
3.10.3.2	Prensa SATEC	37
3.10.4	<i>Instrumentación</i>	38
3.10.4.1	Instrumentación en probetas tipo Luong.....	38
3.10.4.2	Instrumentación en bloques tipo "Z".....	39
3.10.5	<i>Ensayo a compresión</i>	40
3.10.6	<i>Ensayo tipo Luong</i>	41
3.10.7	<i>Ensayo de corte tipo bloque "Z"</i>	43
CAPÍTULO 4	45	
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	45	
4.1	ENSAYOS A COMPRESIÓN	45
4.1.1	<i>Resultados de resistencia a compresión</i>	45
4.1.2	<i>Análisis de resultados</i>	46
4.2	ENSAYOS LUONG	47
4.2.1	<i>Modo de falla</i>	47
4.2.2	<i>Comportamiento de curvas de carga vs desplazamiento</i>	54
4.2.3	<i>Comportamiento de curvas resistencia al corte vs desplazamiento</i>	59
4.2.4	<i>Comportamiento de curvas de deformación diametral</i>	64
4.2.5	<i>Análisis de resultados</i>	69
4.2.5.1	Carga vs desplazamiento	69
4.2.5.2	Resistencia al corte vs desplazamiento.....	72
4.3	ENSAYOS DE CORTE TIPO BLOQUE "Z"	75
4.3.1	<i>Modo de falla</i>	75
4.3.2	<i>Resultados</i>	77
4.3.3	<i>Análisis de resultados</i>	78
CAPÍTULO 5	79	
5. COMPARATIVO DE RESISTENCIA AL CORTE EN CRF	79	
5.1	INTRODUCCIÓN.....	79
5.2	DISEÑO DE MEZCLAS Y GENERALIDADES.....	81
5.2.1	<i>Dosificación</i>	81
5.2.2	<i>Pruebas en estado fresco</i>	81
5.2.3	<i>Nomenclatura de especímenes</i>	82
5.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
5.3.1	<i>Ensayos a compresión</i>	83
5.3.2	<i>Ensayos Luong</i>	84
5.3.2.1	Modo de falla.....	84
5.3.2.2	Comportamiento de curvas de carga vs desplazamiento.....	88
5.3.2.3	Comportamiento de curvas de resistencia al corte vs desplazamiento	92
5.3.2.4	Comportamiento de curvas de deformación diametral.....	96

5.3.3 Ensayos de corte tipo bloque "Z"	98
5.3.3.1 Modo de falla.....	98
5.3.3.2 Resultados	98
5.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS LUONG VS BLOQUES TIPO "Z"	99
CONCLUSIONES.....	100
REFERENCIAS	102
ANEXOS	

RESUMEN

El comportamiento a la falla del concreto, en particular, la resistencia al corte, es un tema de interés debido a su necesidad al momento de diseñar elementos de estructuras de concreto que se encuentran sometidos a corte. Un ejemplo de casos críticos es en vigas, cuando se presentan esfuerzos considerables de corte en los apoyos de las mismas, debido a su diseño, forma o tipo de cargas a la cual se encuentra expuesto dicho elemento. En general el comportamiento de elementos estructurales de concreto, sometidos a esfuerzos cortantes, está relacionado con la presencia de esfuerzos normales, es decir, frecuentemente estos problemas plantean situaciones de combinación de esfuerzos y son pocos los casos de elementos estructurales solicitados a corte puro.

En la actualidad no existe un método de prueba normalizado que permita determinar la capacidad resistente a corte del concreto. En general no se efectúa una determinación experimental sistemática, sino que, la resistencia a corte se obtiene como un porcentaje de la resistencia a compresión uniaxial o a partir de relaciones empíricas en las que interviene la resistencia a compresión uniaxial como parámetro.

En esta investigación se presenta un estudio experimental sobre una metodología alternativa sistemática para la caracterización de la resistencia al corte del concreto. El planteamiento se basa en la metodología propuesta por Luong en 1990 la cual es un ensayo sencillo, práctico y seguro que pueda usarse como un ensayo rutinario y sistemático.

La metodología de ensayo empleada, basada en la propuesta Luong, consiste en ensayar probetas de 150 mm de diámetro con alturas variables de 40, 60 y 80 mm, a las cuales en cada una de las probetas se le realizan ranuras circulares y concéntricas en las caras superior e inferior de 75 y 100 mm de diámetro y una profundidad de 10 mm. Las probetas se someten a carga axial a través de dos anillos de carga. La carga se aplica sobre los anillos de carga en la cara superior en la zona central exterior a la ranura, mientras que la muestra apoya en la cara inferior sobre la corona interior, de manera que la zona solicitada a corte es la superficie cilíndrica entre ranuras.

Es un ensayo de fácil ejecución y eficiente para determinar la resistencia al corte que se puede realizar en cualquier laboratorio de control de calidad de concretos, el cual permite obtener resultados de resistencia al corte uniformes mediante el registro de carga y desplazamiento.

Palabras Clave: Concreto, resistencia al corte, metodología, caracterización, ensayo

CAPÍTULO 1

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 INTRODUCCIÓN

El comportamiento de la falla del concreto, en particular, la resistencia al corte, es un tema de interés debido a su necesidad al momento de diseñar elementos de estructuras de concreto sobre todo donde los esfuerzos cortantes son muy considerables. Un ejemplo de casos críticos donde se utiliza el diseño por corte se puede ver en la Figura 1.1. En general el comportamiento de elementos estructurales de concreto, sometidos a esfuerzos cortantes, está relacionado con la presencia de esfuerzos normales, es decir, frecuentemente estos problemas plantean situaciones de combinación de esfuerzos y son pocos los casos de elementos estructurales solicitados a corte puro.

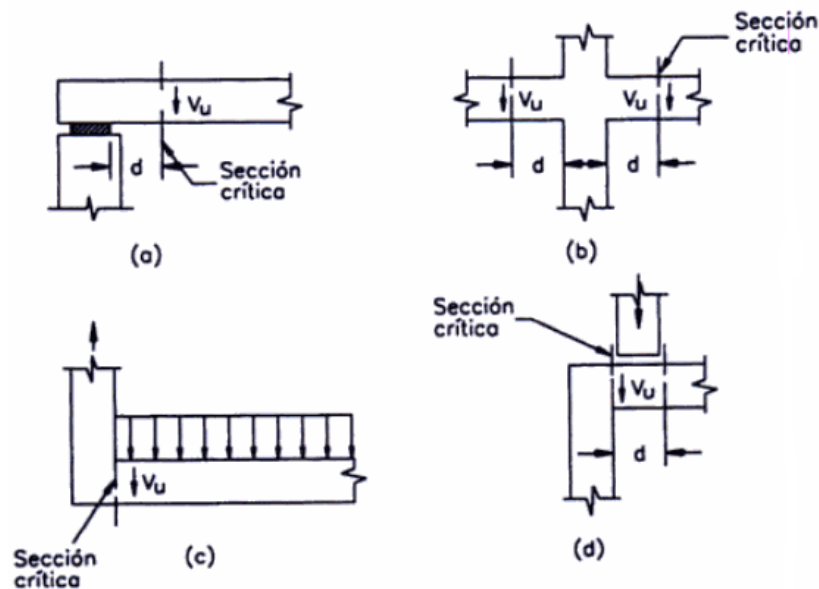


Figura 1.1 Secciones críticas para el diseño por corte en diferentes situaciones (Harmsen, 2005)

En la actualidad no existe un método de prueba normalizado que permita determinar la capacidad resistente a corte del concreto. En general no se efectúa una determinación experimental específica, sino que, la resistencia a corte se obtiene como un porcentaje de la resistencia a compresión uniaxial o a partir de relaciones empíricas en las que interviene la resistencia a compresión uniaxial como parámetro.

Este tipo de determinación puede conducir en ciertos casos a valores de resistencia poco confiables o bien suele subestimar la capacidad resistente del material, puesto que ésta relación porcentual o empírica puede resultar variable en función del tipo de concreto,

particularmente concretos de alta resistencia, autocompactables u otros tipos de concretos especiales en los que no se poseen demasiados antecedentes que permitan definir la relación entre ambas resistencias.

Existen numerosos antecedentes de estudios experimentales que permiten caracterizar el concreto a corte, sin embargo por diversas razones ninguno de ellos se ha destacado sobre los otros como ensayo estándar (Sfer et al., 2009).

Por otra parte, el estudio de los modos de falla de concreto está ampliamente documentado en la bibliografía la cual analiza diferentes aspectos relativos a este estado, reconociendo tres modos de falla: el modo I, de tensión; el modo II de corte y el modo III de corte perpendicular.

Si bien existe una extensa información bibliográfica y experimental sobre el modo de falla I, a tensión, y aunque existen antecedentes de metodologías de ensayo para caracterizar el comportamiento a corte del concreto, no existe en la actualidad un método sistemático que permita evaluar dicha característica. Una de las razones es que las geometrías y sistemas de aplicación de carga son de difícil aplicación o con resultados polémicos.

Por las razones anteriores, no existe una propuesta experimental estándar cuyo procedimiento sea sistemático y confiable que permita evaluar la capacidad resistente al corte del concreto. En general, los requisitos necesarios que debe cumplir una metodología que pretenda ser de referencia como método de prueba, deben ser de fácil realización que requiera de equipos convencionales y de especímenes de uso común en la industria de la construcción. En tal sentido, los requerimientos necesarios de un espécimen para ensayo de cortante son, que sea de una geometría sencilla, simple de fabricar, fácil de preparar, fácil de manipular y de aplicación sencilla de la carga con equipos convencionales.

Una de las propuestas de ensayo para medir experimentalmente las propiedades de fractura de concreto y roca para obtener la resistencia al corte es la propuesta presentada por Luong (Luong, 1990, y Luong, 1992).

La presente propuesta plantea la realización de un estudio experimental para proponer un método de ensayo como una metodología alternativa consistente y sistemática para la caracterización de la resistencia al corte del concreto. El planteamiento considera la metodología propuesta de Luong, proponiendo un ensayo sencillo, práctico y seguro que pueda usarse como un ensayo rutinario y sistemático.

1.2 ANTECEDENTES

Como se mencionó en el apartado anterior, una de las propuestas más simples para la determinación de la capacidad resistente a corte fue realizada por Luong en 1990 (Luong, 1990). Esta propuesta consiste en un ensayo experimental de un prototipo de configuración axisimétrica, que requiere de un cilindro de concreto de altura reducida, al cual se le realizan ranuras concéntricas en las caras superior e inferior respectivamente. La carga se aplica superiormente en la zona central interior a la ranura, mientras que la muestra se apoya en la cara inferior sobre la corona exterior, de manera que la zona solicitada a corte es la superficie cilíndrica entre ranuras.

La propuesta de Luong se aplicó originalmente a morteros y roca, por lo tanto existe el interrogante sobre la validez de ella en el caso de concretos, cuando los agregados son relativamente grandes respecto de la superficie de falla entre ranuras. Una alternativa para estudiar esta perturbación consiste en desarrollar muestras de concreto con diferentes alturas de la superficie de falla, para seguidamente comparar estos resultados con otras probetas de idéntica geometría pero desarrolladas en un material similar sin agregado grueso, es decir muestras de un mortero “equivalente” o de resistencia similar (Sfer et al., 2009).

Diversos métodos de prueba de fractura han sido propuestos por instituciones internacionales como RILEM (Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux) y ASTM (American Society for Testing and Materials). Sin embargo, no hay consenso general dentro de la comunidad científica de la mecánica de fractura acerca de los parámetros apropiados para describir y caracterizar el comportamiento de fractura del concreto.

Se han hecho ensayos con distintas configuraciones de prueba y diferentes geometrías en distintas instituciones y laboratorios para probarlos a la falla al corte. Algunos de las configuraciones que se han hecho estudios se muestran en la Figura 1.2.

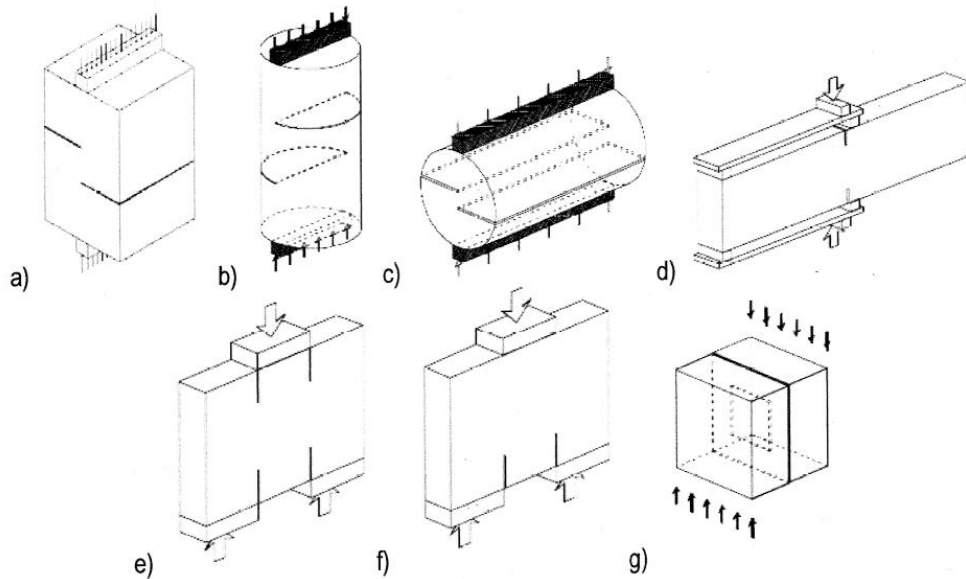


Figura 1. 2 Configuraciones utilizadas para ensayos de corte (Barragán, 2002)

En la Figura 1.2 a), b) y c) se hace una estimación de la respuesta de corte directo del concreto llamado espécimen push-off, en la cual se han usado diferentes variaciones en aplicación de carga, dimensiones y formas de especímenes, sin embargo, análisis de elementos finitos mostraron que existe esfuerzos de tensión en el extremo de la grieta, de la misma magnitud que los esfuerzos de corte, es decir se presenta un estado de esfuerzos combinados y no solamente de corte (Xu y Reinhardt, 2005). En la Figura 1.2 d) se presenta otro tipo de configuración del espécimen que es la viga losipescu, ha sido usada por varios investigadores de concreto en especímenes con una o dos ranuras, quienes concluyeron que este ensayo está gobernado por el modo de falla de tracción y no de corte (Barr y Derradj, 1990; y Schlangen, 1993). En la Figura 1.2 e) y f) la configuración del espécimen es de geometría de corte por punzonamiento, la cual este tipo de especímenes han sido usados en morteros y concretos debido a su facilidad de ejecución, sin embargo estudios demuestran que se generan grandes esfuerzos de tensión en los extremos de las grietas (Davies, 1995). En la Figura 1.2 g) se presenta la caja de corte confinado.

Estos son algunos de los distintos especímenes que se han hecho para estudiar los efectos de corte en el concreto.

Como antecedentes directos a la presente investigación (ensayos tipo Luong) para la caracterización del comportamiento a cortante del concreto, el Grupo de Mecánica de Materiales de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, en España, realizó un estudio experimental usando probetas tipo Luong. Según los ensayos realizados, los resultados presentaron una gran confiabilidad experimental, dado que la configuración de falla y los mecanismos asociados a ella se mantuvieron (Gutiérrez et al., 2005, Montenegro et al., 2007, 2008).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los ensayos de control de calidad y aceptación del concreto, son partes indispensables del proceso constructivo de cualquier obra. Los resultados de los ensayos proporcionan información para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla. Sin embargo, la experiencia y el buen juicio se deben basar en los resultados de las pruebas y de su significado en el control de los procesos de diseño. Las pruebas físicas y las propiedades del concreto se usan para medir la aceptación del mismo.

Los métodos de prueba para la medición de los parámetros que caracterizan el comportamiento de falla del concreto al corte, no están hasta el momento estandarizados en las normativas locales e internacionales. Los resultados que se obtienen de ensayos de corte y tensión del concreto, varían considerablemente. Por lo tanto es necesario prestar especial atención para encontrar un método de ensayo apropiado para esta característica específica del concreto (resistencia al corte).

Aunque hay varios métodos propuestos para ensayos a corte de concreto, ninguno se considera como un procedimiento sistemático para la caracterización por cortante del concreto, debido a las razones comentadas anteriormente y por la complejidad de realización de los ensayos.

La Figura 1.3 presenta un diagrama causa-efecto del problema en cuestión.

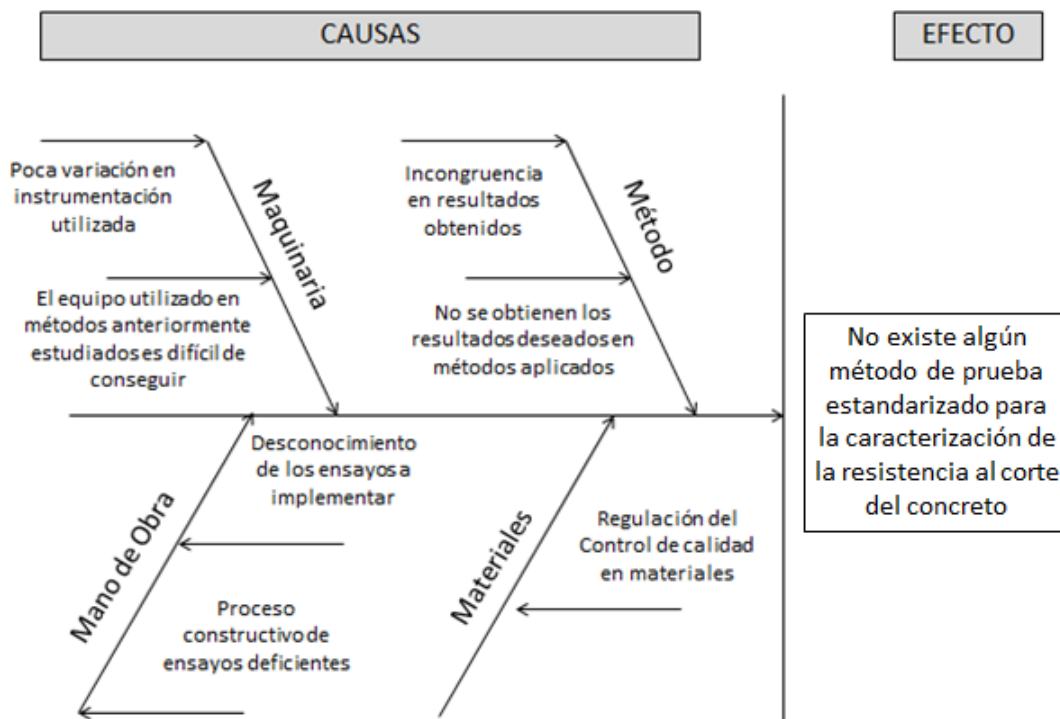


Figura 1.3 Diagrama causa-efecto

1.4 HIPÓTESIS

Se pretende obtener resultados de resistencia al corte implementando el ensayo de corte propuesto por Luong. Se espera que los resultados de las muestras a ensayar sean lo más uniformes y que no exista una variabilidad considerable entre ellos.

Por otra parte, que la elaboración y preparación de especímenes sea de una manera sencilla y práctica, y que el ensayo sea de fácil aplicación, que se pueda implementar en laboratorios de control de calidad. Se pretende hacer un análisis comparativo con otra configuración de especímenes y de ensayos complementarios a esta investigación, mediante especímenes para ensayos de cortante de bloques de forma de tipo Z, para evaluar la factibilidad de la investigación.

Se pretende que esta metodología propuesta permita obtener resultados que garanticen repetibilidad del ensayo en términos de variabilidad aceptable, así como también, el presente estudio proporcione resultados satisfactorios y confiables para caracterizar la resistencia al corte del concreto.

La idea es proponer el ensayo tipo Luong como una metodología alternativa sistemática para la caracterización de la resistencia al corte del concreto, de una forma sencilla y práctica que se pueda realizar en cualquier laboratorio de control de calidad, con geometrías de especímenes prácticas y de uso convencional.

1.5 OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación es obtener la resistencia al corte del concreto evaluando la metodología de ensayo de corte tipo Luong, así como valorar la repetibilidad del ensayo propuesto y sus resultados, además de determinar la relación existente entre la resistencia al corte y resistencia a compresión del concreto.

En base al análisis de los resultados de las pruebas, elegir y recomendar la configuración de la geometría de la probeta de ensayo para su aplicabilidad como método de ensayo estándar.

1.6 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Como alcances del presente trabajo se tiene primeramente una revisión y análisis bibliográfico de los métodos de ensayo de la resistencia al corte, que considere la revisión de geometrías de especímenes utilizados, configuraciones de ensayos y los resultados obtenidos. Posteriormente se realiza la fabricación de dispositivos de carga (anillos de carga), verificación de moldes, fabricación de colados, preparación de muestras, la

configuración y puesta en marcha de la prueba de ensayo tipo Luong. Finalmente se concluirá con un análisis de resultados obtenidos de los ensayos, así como un análisis comparativo entre otras configuraciones de ensayos implementados para la obtención de resistencia a corte.

1.7 JUSTIFICACIÓN

La resistencia al corte es un parámetro que se usa al diseñar estructuras de concreto en donde existen esfuerzos de cortante muy grandes. No existe un ensayo estandarizado que permita conocer información de la caracterización de la resistencia al cortante. El cortante en el diseño se calcula mediante fórmulas empíricas relacionado directamente con la resistencia a la compresión. La principal justificación de este trabajo es proponer un ensayo con el que se pueda obtener la resistencia al corte de forma sencilla y práctica. El motivo por el cual se realiza el presente trabajo de investigación experimental es principalmente para la elaboración de recomendaciones y protocolos de la metodología del ensayo de corte tipo Luong para su uso en concreto.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL CONCRETO

2.1 INTRODUCCIÓN

Se han realizado ensayos con distintas configuraciones para caracterizar la resistencia al corte del concreto. Estos ensayos, hasta el momento, no han sido aprobados como un ensayo estándar para obtener la resistencia al corte del concreto, debido a que la configuración de los ensayos presenta esfuerzos combinados y no únicamente esfuerzos de corte directo.

Por otra parte la geometría que emplean estas metodologías en la mayoría de los casos necesita la fabricación de moldes y configuración de ensayos especiales, lo cual limita su aplicación como método de prueba estándar debido a su complicación.

En los apartados siguientes se describen algunos de los ensayos más representativos que se han hecho para la obtención de la resistencia al corte, así como los resultados obtenidos.

2.2 RESISTENCIA AL CORTE DEL CONCRETO

El concepto de esfuerzo nace, entonces, de la necesidad de conocer la forma en que se distribuyen las fuerzas tangencial y normal en una sección cualquiera; no basta conocer la fuerza total, para saber cuál es la zona donde hay mayor intensidad de fuerza por unidad de área.

La Figura 2.1 a) muestra los esfuerzos normal, S_x , y cortante, S_{sx} , que actúan sobre la cara mostrada de un punto de alguna sección de corte; el subíndice 'X' indica que la cara sobre la cual actúa el esfuerzo es perpendicular a la dirección del eje x. La combinación de esfuerzo normal y cortante cambia para el mismo punto, si éste se analiza desde otro plano de corte. Por lo tanto, no basta conocer esta pareja de esfuerzos, ya que dependiendo de la orientación del plano de corte se tendrán diferentes parejas. Al analizar los esfuerzos que actúan sobre tres planos ortogonales, sí se define completamente el estado de esfuerzo en un punto. La Figura 2.1 b) muestra esfuerzos normales y cortantes sobre las caras perpendiculares a las caras de los ejes x, y y z, y en la Figura 2.1 c) se muestra un estado triaxial de esfuerzos.

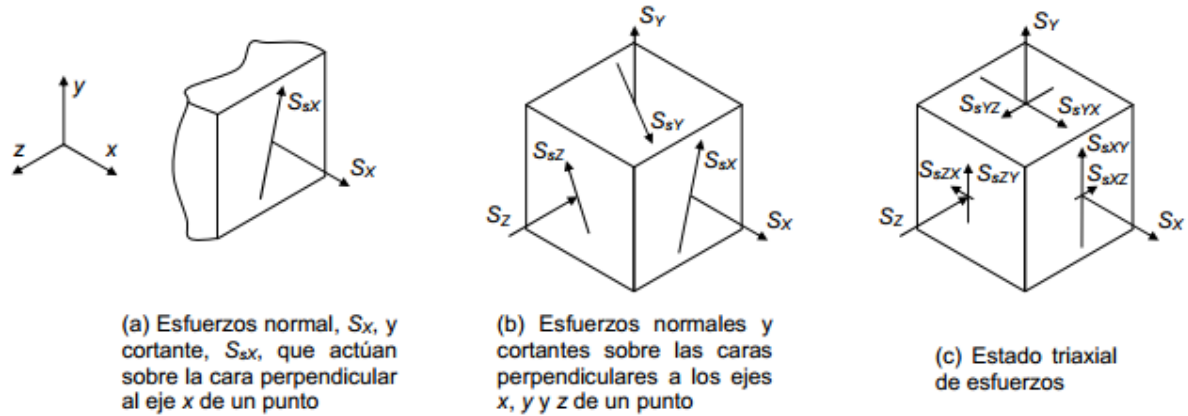


Figura 2.1 Esfuerzos normales y cortantes en un punto de un elemento sometido a cargas

Para el diseño de elementos prismáticos sometidos a fuerza cortante según el código del ACI, la resistencia nominal al corte será la suma de las resistencias aportadas por el concreto y el refuerzo, es decir:

$$V_n = V_c + V_s$$

Donde; V_n es la resistencia nominal al corte, V_c resistencia al corte del concreto y V_s resistencia al corte del refuerzo.

Por lo que el código ACI sugiere una expresión simplificada para la determinación de V_c

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d$$

Donde,
 f'_c , es la resistencia a compresión del concreto
 $b_w d$, es la sección transversal del elemento

2.3 MÉTODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR RESISTENCIA AL CORTE

2.3.1 Ensayo Push-Off

El ensayo tipo push-off o también llamado probetas tipo Z, ha sido bastante popular en la determinación de la respuesta al corte directo del concreto. La probeta es básicamente un prisma cortado formando dos bloques tipo L, unidos a través de un plano sobre el que se producen tensiones de corte debido a una carga de compresión externa (Carmona y Cabrera, 2009).

La configuración general de la geometría se muestra en la Figura 2.2 con dimensiones de 150 x 150 x 260 mm y ranuras de 75 mm de profundidad.

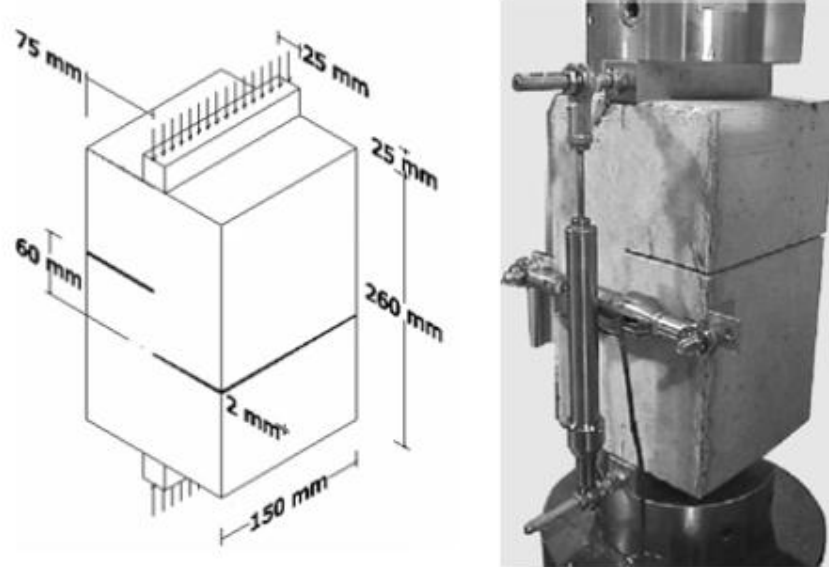


Figura 2.2 Ensayo Push-off (Barr, 1986)

Estos ensayos son muy sensibles a excentricidad en la aplicación de carga a compresión, lo que se traduce en roturas por flexión y no por corte (Carmona y Cabrera, 2009).

Los resultados del ensayo muestran una combinación de esfuerzos de tensión y de corte, además de que no es una muestra estándar de control de calidad cuando se trata de concreto.

Se han hecho modificaciones a este tipo de pruebas en ese aspecto tratando de implementar el mismo ensayo a cilindros convencionales de 150 x 300 mm de uso tradicional para la obtención de la resistencia a compresión como se muestra en la Figura 2.3.

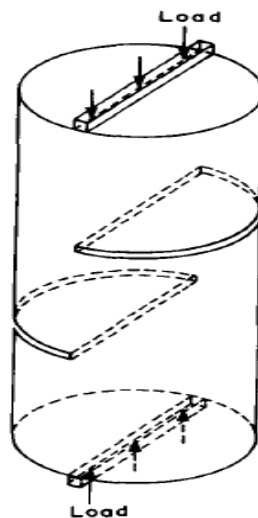


Figura 2.3 Ensayo Push-off cilindro 150x300 mm (Barr, 1986)

Algunas conclusiones de este estudio fueron un bajo coeficiente de variación en un rango de 5.5% a 9.0%. Las resistencias al corte para distintas mezclas de concreto son independientes de la profundidad de la ranura y del tamaño máximo del agregado en la mezcla (Barr, 1986).

Los resultados obtenidos con este tipo de configuración fueron similares al bloque propuesto inicialmente, con una combinación de esfuerzos, no obteniéndose resultados de corte puro.

2.3.2 Ensayo JSCE-SF6

La configuración del ensayo propuesto por la recomendación de la Sociedad Japonesa de Ingeniería Civil (JSCE), es una mejora de las probetas tipo Z, ampliamente utilizada en investigaciones relativas a la resistencia al corte.

La Figura 2.4 muestra la configuración del ensayo. Como se observa la carga de corte se aplica sobre una probeta prismática. Durante el ensayo, el esfuerzo de corte se produce por medio de una carga de compresión transmitida al prisma por un bloque de acero provisto de dos cuñas, cuyas caras exteriores coinciden con el borde interno de las ranuras, distantes 150 mm entre sí. La vigueta o prisma se apoya en otras dos cuñas fijas a otro bloque rígido, separadas 155 mm. Entonces, es a través de una zona angosta, de 2.5 mm de ancho, donde se produce un campo de esfuerzos de corte concentrados.

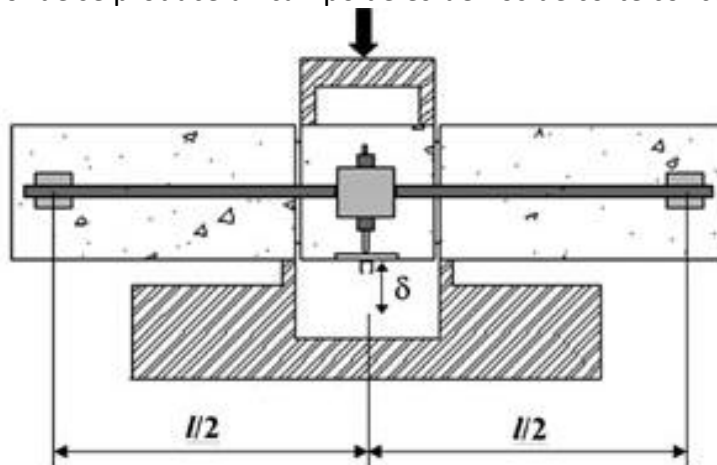


Figura 2.4 Configuración ensayo JSCE-SF6 (Carmona y Cabrera, 2009)

Los resultados obtenidos de los primeros ensayos realizados de esta investigación, demostraron que el plano de falla no se producía en la zona angosta sometida al esfuerzo de corte, obteniendo resultados no válidos. Con el fin de definir dos planos de falla, se realizaron dos ranuras en las probetas, en la zona de concentración de esfuerzos, permitiendo alcanzar resultados válidos y con poca variabilidad (Carmona y Cabrera, 2009).

2.3.3 Viga losipescu

Este método originalmente fue desarrollado para caracterizar las propiedades de corte de metales.

La viga losipescu es una viga de sección rectangular con dos ranuras de corte, sometida a una fuerza cortante con ausencia de momento de flexión. La geometría se muestra en la Figura 2.5. Es importante asegurar una buena alineación de las ranuras y que sean de la misma profundidad (Barr, 1986).

Investigaciones recientes han demostrado que la distribución del esfuerzo cortante en la sección de prueba no es uniforme. Además, la distribución del esfuerzo cortante y normal ha demostrado ser altamente dependiente de la geometría de la ranura y de las condiciones de aplicación de carga.

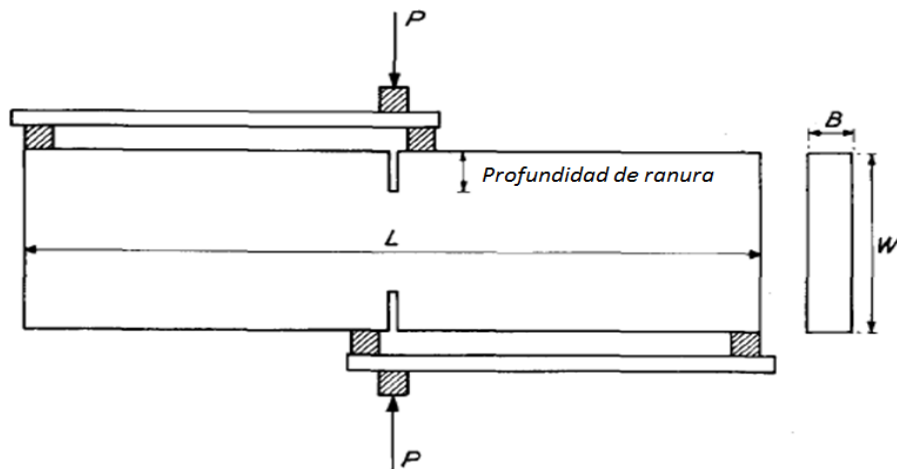


Figura 2.5 Viga losipescu

2.3.4 Ensayo tipo Luong

La propuesta consiste en un ensayo experimental de un prototipo de configuración axisimétrica, un cilindro de concreto de altura reducida, a la cual se le realizan ranuras concéntricas en las caras superior e inferior respectivamente. La carga se aplica superiormente en la zona central interior a la ranura, mientras que la muestra apoya en la cara inferior sobre la corona exterior, de manera que la zona solicitada a corte es la superficie cilíndrica entre ranuras (Sfer et al., 2009).

El ensayo propuesto por Luong consiste en una probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro con una altura de 40 mm y dos ranuras circulares en ambas caras (superior e inferior) con un diámetro de 50 mm y una profundidad de 10 mm. El ensayo consiste en colocar dos discos circulares de carga (uno en la cara superior y el otro en la cara inferior de la probeta), lo cual hace que se genere un corte directo entre las ranuras de la probeta.

En la Figura 2.6 se puede observar las dimensiones de la probeta y configuración original de ensayo tipo Luong.

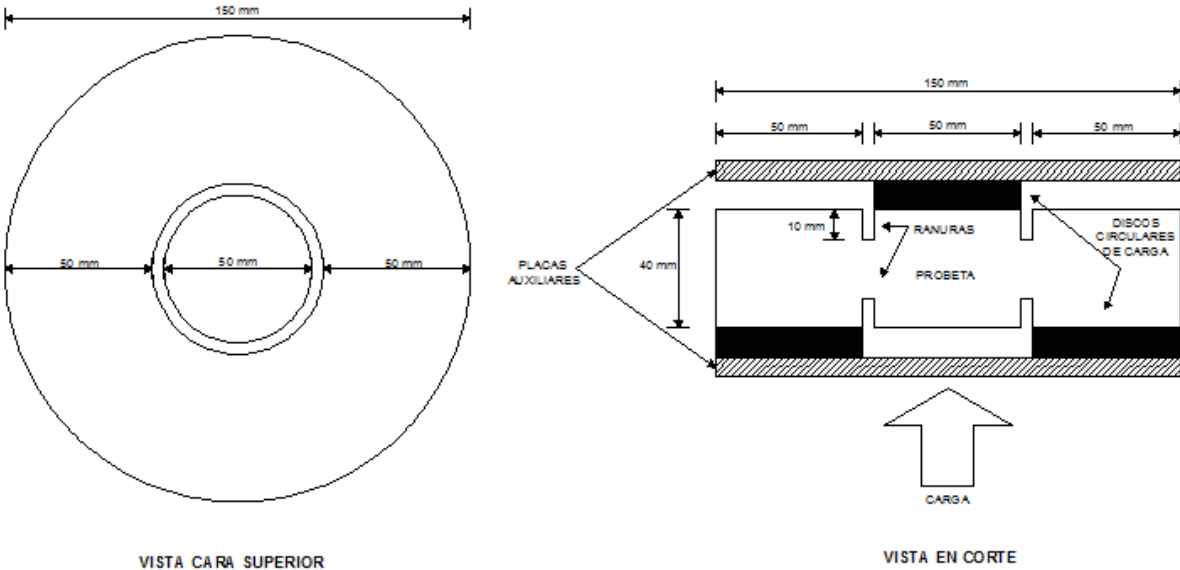


Figura 2.6 Probeta y configuración de ensayo tipo Luong

CAPÍTULO 3

3. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Estructuras y Materiales del Instituto de Ingeniería (II) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Se fabricaron seis mezclas de concreto, de las cuales tres de ellas fueron de concreto convencional (concreto simple sin fibras) y las tres restantes de concreto con fibras de acero. La investigación incluye tres tipos de ensayo; ensayo de corte tipo Luong, ensayo de corte en bloques tipo "Z" y ensayos de compresión.

Por cada serie se fabricaron: tres bloques de concreto tipo "Z" de 100 × 200 × 440 mm, para los ensayos de corte de bloques tipo "Z"; tres cilindros de concreto de 150 × 300 mm para los ensayos de compresión y seis cilindros de 150 × 150 mm para ensayos tipo Luong. En la Tabla 3.1 se muestra el número de especímenes fabricados por cada colado.

Tabla 3.1 Número de especímenes según tipo de ensayo

Tipo Probeta	Dimensión, mm	Tipo de Ensayo	No. Especímenes por colado
Bloque tipo "Z"	100 × 200 × 440	Cortante Bloque	3
Cilindro	150 × 300	Compresión	3
Cilindro	150 × 150	Cortante Luong	6

Por cada serie de mezcla preparó un volumen de 75 litros, este volumen incluye el necesario para fabricar los moldes y realizar los ensayos en estado fresco (revenimiento, peso unitario y contenido de aire). En la Tabla 3.2 se muestra el cálculo del volumen necesario para fabricar las probetas y realizar los ensayos en estado fresco del concreto.

Tabla 3.2 Volumen de mezcla

Molde	Dimensiones, mm	No. Moldes	Prueba	Volumen, m ³	Volumen Total, m ³
Bloque "Z"	100 × 200 × 440	3	Cortante	0.009	0.026
Cilindro	150 × 300	3	Compresión	0.005	0.016
Cilindro	150 × 150	6	Cortante Luong	0.003	0.016
Cilindro	---	1	Peso Unitario	0.007	0.007
Cono	---	1	Revenimiento	0.005	0.005
				Subtotal:	0.071
				Desperdicio 10%:	0.007
				Total:	0.078

3.2 ENSAYO TIPO LUONG

Las probetas de ensayo tipo Luong resultan del corte de cilindros de 150 × 150 mm, de las cuales se obtienen probetas de 3 alturas diferentes; 40, 60 y 80 mm y 150 mm de diámetro. Las alturas deseadas se obtienen mediante el corte de los cilindros de 150 × 150 mm con una cortadora de disco. A cada probeta se le realizan ranuras circulares en ambas caras (superior e inferior). Dichas ranuras fueron de 75 mm y 100 mm de diámetro aproximadamente y una profundidad de 10 mm, con anchos de corona resultantes de 37.5 y 25 mm aproximados, respectivamente (ver Figura 3.1). Las ranuras se hicieron utilizando una extractora de corazones de concreto verificando que fueran concéntricas.

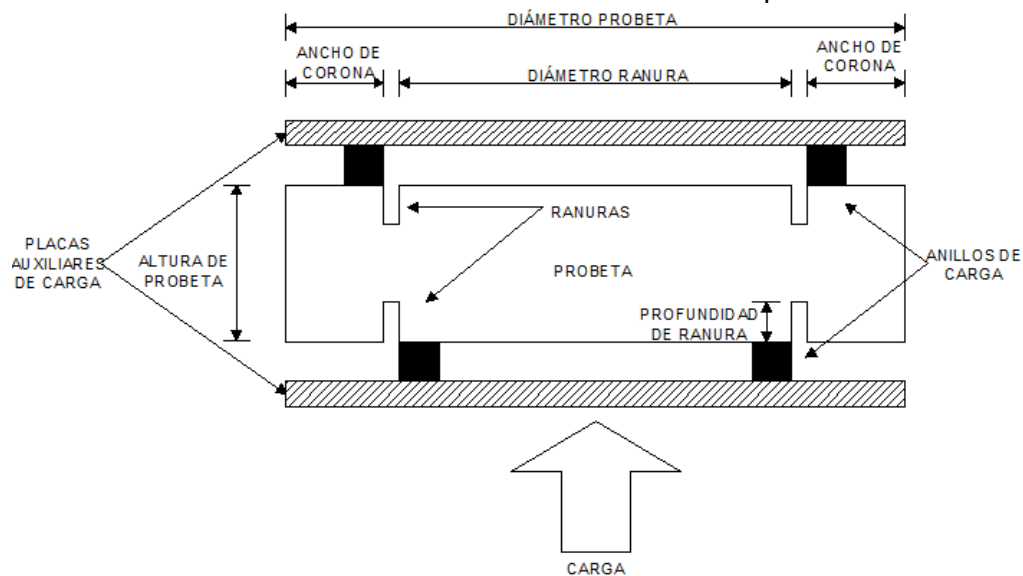


Figura 3.1 Configuración típica de un ensayo de corte tipo Luong

En la Figura 3.2 se muestra la geometría de las probetas y el sistema de aplicación de carga. La carga se aplica sobre anillos colocados en el interior y exterior de las ranuras de ambas caras de la probeta. La prueba se realiza por control de desplazamiento y durante todo el ensayo se registra la carga y desplazamiento, para lo cual se colocan transductores

de desplazamiento a 120° entre sí, que se colocan sobre bases magnéticas que se apoyan en una placa auxiliar de acero. Para cada serie se ensayaron seis probetas. Del ensayo se obtienen curvas carga-desplazamiento vertical y circunferencial del comportamiento a corte del concreto, utilizando una cadena con extensómetro para registrar el desplazamiento circunferencial.

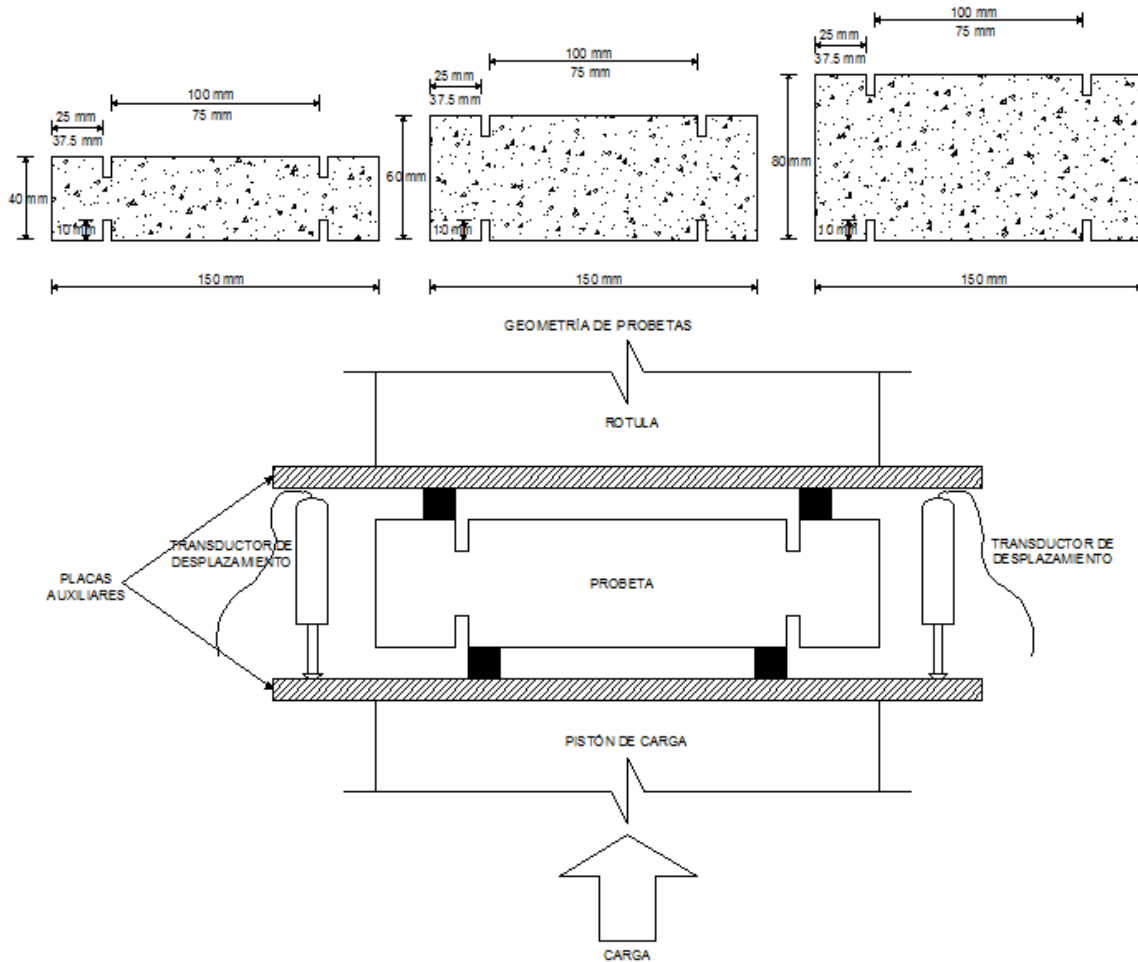


Figura 3.2 Geometría de probetas, instrumentación y sistema de aplicación de carga

Los parámetros de los especímenes que se consideran en el estudio se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Parámetros de especímenes Luong

Diámetro de probeta	150 mm
Altura de probetas	40, 60 y 80 mm (variable)
Diámetro de ranura	75, 100 mm aprox.
Ancho de corona	27, 37.5 mm aprox.
Profundidad de ranura	10 mm
Número de diseños por mezcla	6
Resistencia a compresión	40 Mpa
Tamaño de agregado	9.5 mm

Con la aplicación de ensayos se pretende obtener curvas carga-desplazamiento de cada uno de los ensayos, para de ahí obtener las curvas de resistencia al corte.

Mediante el ensayo de corte tipo Luong se obtiene el comportamiento de carga vs desplazamiento el cuál se gráfica en un hoja de cálculo. Posterior a la obtención de gráficas carga vs desplazamiento, se calculan los datos de resistencia al corte, y de igual manera se grafican los resultados.

3.3 ENSAYO DE CORTE EN PRISMAS

Para el ensayo se emplearon bloques de concreto de 200 mm de ancho, 100 mm de espesor y 440 mm de altura, con dos ranuras en sus caras con un espesor de 20 mm y una longitud de 100 mm. La Figura 3.3 muestra un esquema de las dimensiones del bloque empleado.

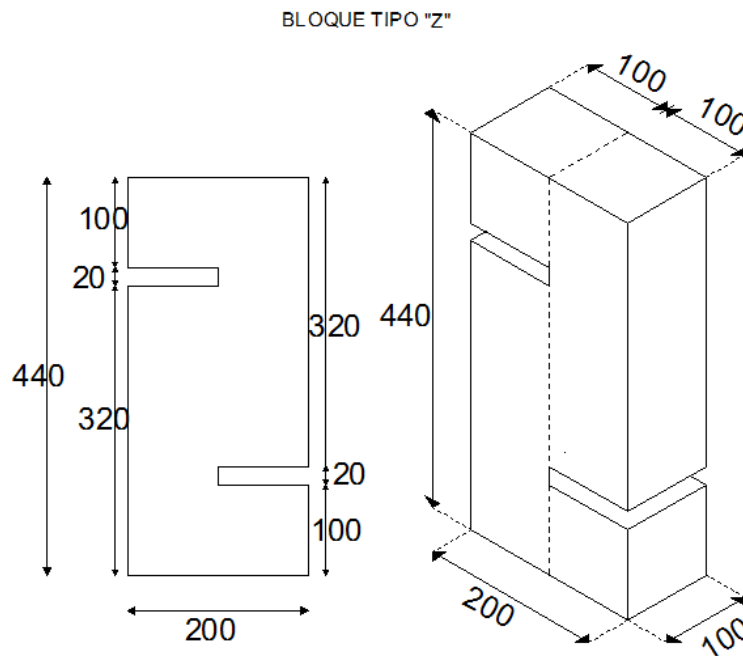


Figura 3.3 Dimensiones bloque tipo "Z", acotamiento en mm.

El ensayo se realiza por control de desplazamiento del pistón. Durante todo el ensayo se registra la evolución de la carga y el desplazamiento axial. La instrumentación se llevó a cabo mediante dos transductores de desplazamiento de 10 mm de rango que se colocaron sobre un marco de aluminio para registrar el desplazamiento en la zona de falla al corte. Los transductores se colocan en ambas caras del espécimen (frontal y posterior). La Figura 3.4 muestra la configuración de la instrumentación.

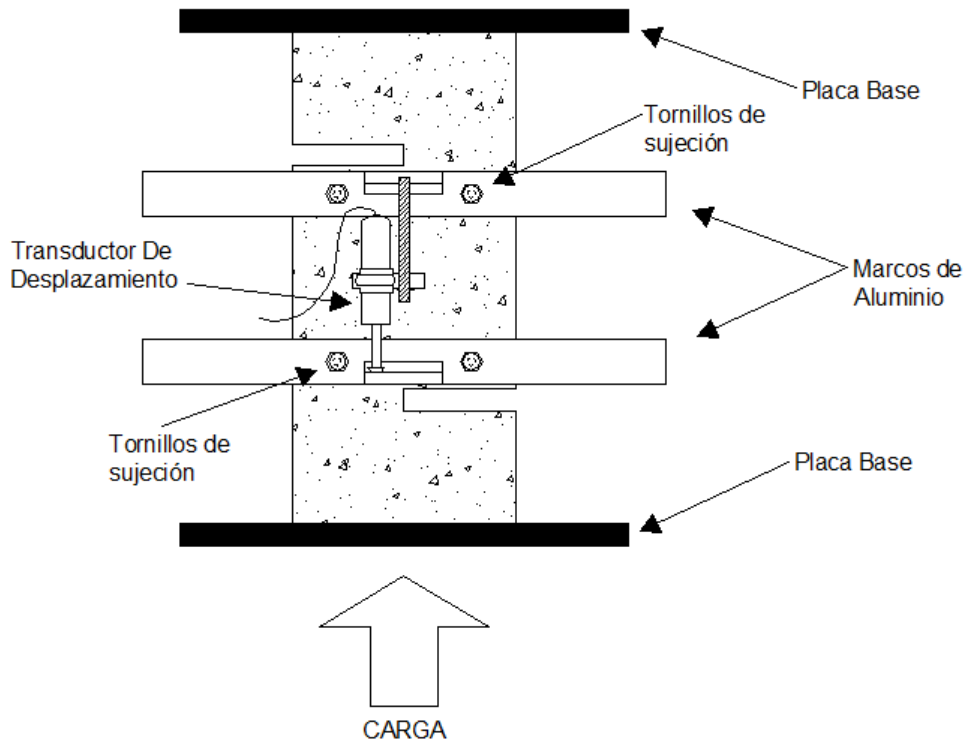


Figura 3.4 Configuración de ensayo bloque tipo "Z"

3.4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Se elaboró un programa de actividades para cumplir con la campaña experimental. La investigación se comenzó haciendo una revisión y análisis bibliográfico con temas y ensayos relacionados con la resistencia al corte del concreto.

Se tuvo que definir la configuración e implementación de los ensayos, fabricando dispositivos de carga como anillos y placas para ensayos tipo Luong, y mecanismos de soporte como marcos metálicos para ensayos de bloque tipo "Z". Una vez definido la implementación del método, se procedió a la calibración de los dispositivos de instrumentación, en este caso los transductores de desplazamiento y la cadena circunferencial con extensómetro para medir la deformación diametral de las probetas tipo Luong.

Una vez que se realizaron los preparativos correspondientes, se comenzó con la fabricación de concretos. En total se elaboraron seis mezclas; tres de concreto convencional o sin fibra y tres con fibra.

Los especímenes fueron desmoldados a las 24 hrs después de haberse fabricado, para de ahí almacenarlos en la cámara húmeda bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ y 95% de HR, de acuerdo con la norma NMX-C-148-ONNCE (gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para las pruebas

cementantes y concretos hidráulicos-especificaciones), donde permanecieron hasta la fecha de ensayo.

Las probetas tipo Luong fueron retiradas de la cámara húmeda a los 21 días para realizar las preparaciones correspondientes; como son los cortes y ranuras, así como para obtener registro de mediciones de las dimensiones de altura, diámetros, espesores y peso. Los cilindros para las pruebas de compresión y bloques tipo “Z” para pruebas de corte fueron retirados un día antes de los ensayos para tomar registro de medición y peso. Cabe señalar que después de hacer las preparaciones y tomar registro de mediciones, las probetas fueron llevadas a la cámara húmeda para de ahí conservarlas al día de su respectivo ensayo y en todo momento se mantuvieron las condiciones de temperatura y humedad relativa. Todos los ensayos se realizaron a 28 días de edad.

Una vez concluidos los ensayos, se inició con el procesamiento de datos y elaborar el análisis de resultados de las pruebas.

3.5 DISEÑO DE MEZCLAS

Como ya se mencionó en apartados anteriores, se fabricaron dos tipos de concreto; concreto simple y concreto reforzado con fibras de acero. En total se hicieron seis mezclas, las primeras tres fueron de concreto sin fibra y las tres restantes de concreto reforzado con fibra de acero (CRF). Para llevar un control de las mezclas, se les identificó como M1, M2 y M3 a las mezclas de concreto simple (sin fibra), y M4, M5 y M6 a las mezclas de concreto reforzado con fibras de acero.

3.5.1 Materiales

3.5.1.1 Cemento

En la fabricación de concretos se empleó un cemento Portland compuesto CPC 40 RS, que cumple con los requisitos de la norma oficial mexicana NMX-C-414-ONNCCE, resistente a los sulfatos.

3.5.1.2 Agregados

Como agregado grueso se empleó grava caliza de 9.5 mm (3/8”) y como agregado fino una arena andesítica de 3.10 de módulo de finura. La Tabla 3.4 muestra las propiedades físicas de los agregados.

Tabla 3.4 Propiedades físicas de los agregados

Característica	Arena	Grava
Absorción, %	6.79	1.35
Peso específico de masa, kg/lt	2.19	2.61
Peso volumétrico suelto, kg/m ³	1250	1395
Peso volumétrico compactado, kg/m ³	1432	1597

3.5.1.3 Agua

Para las mezclas se utilizó agua de la red local de agua potable y, por lo que se considera satisfactoria para su empleo en la fabricación de concreto.


3.5.1.4 Fibras de acero

En los concretos reforzados con fibras (CRF), se empleó una fibra de acero con denominación Dramix RC 65 35 BN del fabricante Bekaert. La Tabla 3.5 muestra las características de la fibra utilizada.

El contenido de fibra por metro cúbico de concreto empleado fue de 40 kg/m³.

Tabla 3.5 Características de fibra de acero

Dramix RC-65-35-BN	
Longitud (L), mm	35
Diámetro (d), mm	0.55
Relación de aspecto o esbeltez (L/d)	65
Tono	Brillante
Contenido carbón	Bajo contenido carbón



En el Anexo A-1, se muestra una ficha técnica de la fibra Dramix RC 65 35 BN.

3.5.1.5 Aditivo

El aditivo usado, es un aditivo reductor de agua Pozzolith 322N del fabricante BASF. Reduce el contenido de agua requerido para una manejabilidad determinada (Ver ficha técnica en Anexo A-2). Dentro de los beneficios de este aditivo se encuentran los siguientes:

- ✓ Mejora la trabajabilidad o manejabilidad del concreto
- ✓ Reduce la segregación
- ✓ Características de acabados superiores para superficies planas y encofradas
- ✓ Aumento de resistencia a la flexión y compresión

3.5.2 Dosificación

Se empleó un proporcionamiento de materiales de trabajos previos de caracterización de concreto reforzado con fibras. Se siguieron las recomendaciones del ACI 211.1 (American Concrete Institute). Los parámetros de diseño fueron la resistencia a compresión, relación agua/cemento, revenimiento y tamaño de agregado grueso. En este caso la resistencia deseada fue de 400 kg/cm^2 , una relación agua/cemento de 0.5 y un tamaño máximo de agregado de 9.5 mm (3/8").

La Tabla 3.6 muestra la dosificación de mezclas.

Tabla 3.6 Dosificación de mezclas

Dosificación de mezclas							
Serie	Cemento kg/m^3	Arena kg/m^3	Grava kg/m^3	Agua kg/m^3	Aditivo ml/m^3	Fibra kg/m^3	Relación a/c
M1 a M3	428	662	855	214	2 000	-	0.50
M4 a M6	428	662	855	214	2 000	40	0.50

3.5.3 Corrección por humedad de agregados

En cada caso se hizo la corrección por humedades. El procedimiento fue el siguiente: un día antes de iniciar con la fabricación de concretos, se colocó en charolas previamente pesadas, una muestra de material de peso conocido, de los depósitos de agregado, como se muestra en la Figura 3.5, para de ahí pesar la charola con el contenido de material como se muestra en la Figura 3.6 y posteriormente introducirlas a un horno industrial como se muestra en la Figura 3.7 a una temperatura de 110°C durante 24 hrs de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM C 566.



Figura 3.5 Deposito de agregado fino



Figura 3.6 Pesado de muestras



Figura 3.7 Secado de agregados en horno

Después de 24 hrs dentro del horno, se procedió por retirar las charolas de los agregados para pesarlos nuevamente.

Se prosiguió a calcular el contenido de humedad en porcentaje mediante la fórmula:

$$\text{Contenido Humedad \%} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} * 100$$

Una vez obtenidos el porcentaje de contenido de humedad de los agregados, se procede a hacer la corrección de pesos de los materiales de la mezcla (Arena, grava y agua). Las cantidades de cemento, aditivo y fibras en su caso quedan igual.

Este porcentaje obtenido del contenido de humedad se le suma a los pesos calculados en la dosificación de los agregados (Arena y Grava). Se hace esta operación para cada uno de los agregados.

Para el caso del agua, se le resta el peso (kg), correspondiente a la suma de los porcentajes del contenido de humedad de los agregados. Posteriormente se le suma los pesos de las cantidades correspondientes al porcentaje de absorción de los agregados.

En el Anexo A-3 se adjuntan las tablas de la corrección de pesos de cada una de las mezclas elaboradas.

3.5.4 Equipo

El equipo que se utilizó fue el siguiente:

- Horno industrial
- Mesa de vibrado
- Revolvedora de concretos con capacidad de 0.100 m³
- Cámara húmeda
- Herramienta menor (carretillas, conos de revenimiento, cucharones, palas, varilla de enrase, probetas de cristal, equipo de protección, etc.)
- Básculas
- Molde para contenido de aire y peso volumétrico

3.5.5 Procedimiento de fabricación de concretos

3.5.5.1 Dosificación de materiales

Se estableció un procedimiento sistemático comenzando con pesar los materiales, haciendo uso de una báscula digital para pesar las cantidades de material señaladas en la dosificación de pesos corregidos como se puede observar en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Dosificación de materiales

3.5.5.2 Preparación de moldes

Una vez pesado los materiales, se realizó la preparación de moldes con actividades como limpieza, armado y aplicación de una ligera capa de aceite que se utilizó con la finalidad de desmoldar con facilidad.

Los moldes utilizados para cada una de las mezclas fueron los siguientes:

- 6 moldes cilíndricos de 150 × 150 mm para ensayos tipo Luong
- 3 moldes cilíndricos de 150 × 300 mm para ensayos a compresión
- 3 moldes prismáticos tipo bloque "Z" de 200 × 100 × 440 mm para ensayos de corte

El conjunto de moldes se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Moldes empleados

3.5.5.3 Fabricación, moldeado, vibrado y enrasado de especímenes

Una vez pesados los materiales y los moldes preparados, se comenzó con la fabricación de concretos. Como ya se mencionó en párrafos anteriores, se consideró un volumen de 75 litros por mezcla, tomando en cuenta el volumen para el molde del contenido de aire y peso unitario, tres cilindros para ensayos a compresión, seis cilindros para ensayos tipo Luong, tres bloques prismáticos tipo "Z" para ensayos de corte, para los ensayos de peso unitario y revenimiento, además de 10% de desperdicio.

Antes de iniciar con la fabricación, se añadió una mezcla de cemento-arena-agua a la revolvedora con las mismas proporciones que el diseño de mezcla a emplear, para un volumen de tres litros con la finalidad de humedecer el equipo de mezclado.

La fabricación se inició con la colocación de los materiales en un orden específico. Primeramente se incorporó el agregado grueso, siguiendo el agregado fino y el agua de absorción mezclando durante un minuto para uniformizar los agregados, posteriormente

el cemento y el agua restante de forma lenta, dando inicio al tiempo de mezclado. En la Figura 3.10 se muestra la colocación de los materiales en la revolvedora.



Figura 3.10 Colocación de materiales en la revolvedora

A partir de añadir agua, se inicia el proceso de mezclado y por consiguiente se empieza a tomar registro del tiempo de mezclado. Con una duración de tres minutos para el mezclado inicial, se toman dos minutos en reposo cubriendo la revolvedora con un paño húmedo para evitar la pérdida por humedad, como se muestra en la Figura 3.11, posteriormente un minuto para la adición del aditivo, en el caso de las mezclas con fibra, se toman dos minutos para el mezclado de estas y finalmente un minuto adicional.



Figura 3.11 Reposos de mezcla

La medición del aditivo se hizo en una probeta graduada de cristal como se muestra en la Figura 3.12



Figura 3.12 Dosificación de aditivo Puzzolith 322N

La incorporación de fibras se hizo lentamente para que se mezclaran de mejor manera. En la Figura 3.13 se muestra la adición de fibras a la mezcla.



Figura 3.13 Adición de fibras de acero Dramix RC6535BN

Al término del mezclado, se hicieron las pruebas en estado fresco. Primeramente realizando la prueba de revenimiento siguiendo las indicaciones de la norma NMX-C-156-ONNCE como se muestra en la Figura 3.14, posteriormente la prueba del contenido de aire y peso unitario en base a la norma ASTM C138/C138M como se muestra en la Figura 3.15.



Figura 3.14 Prueba de revenimiento



Figura 3.15 Pruebas de peso unitario y contenido de aire

Después se procedió al llenado de moldes, llenándolos por capas para iniciar su proceso de compactación que se realizó mediante la mesa de vibrado durante una duración de 15 segundos por cada capa, como se muestra en la Figura 3.16. Los cilindros de 150 × 300 mm y el molde para el contenido de aire y peso unitario se llenaron en tres capas, el resto se hizo en dos capas para su vibrado.



Figura 3.16 Moldeado y vibrado de muestras

Una vez vibrados los moldes, se realizó el enrase final a las muestras procurando dejar una superficie lisa y plana en cada una de las caras superiores de los moldes, como se muestra en la Figura 3.17.



Figura 3.17 Enrasado de muestras

3.5.6 Pruebas en estado fresco

Como se comentó en el apartado anterior, a cada una de las mezclas se le realizaron las pruebas en estado fresco como son:

- Revenimiento
- Contenido de aire
- Peso unitario

Cabe señalar que la trabajabilidad del concreto se ve afectada en forma importante con la incorporación de fibras de acero, aunque los porcentajes incluidos sean bajos. Esto se ve reflejado en los valores obtenidos de la prueba de revenimiento, mostrados en la Tabla 3.7.

Recordando lo señalado en párrafos anteriores, las mezclas M1, M2 y M3 son las mezclas sin fibra; M4, M5 y M6 son mezclas con fibras de acero.

Tabla 3.7 Resultados de pruebas en estado fresco

ID	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P.U. kg/m ³	2255	2247	2260	2274	2284	2278
Revenimiento (cm)	8.0	7.7	7.9	6.2	3.3	5.0
Contenido de Aire (%)	2.2	2.1	1.6	2.5	3.0	2.9
Contenido de fibra kg/m ³	-	-	-	40	40	40

3.6 ALMACENAMIENTO Y CURADO DE ESPECÍMENES

Todos los especímenes fueron desmoldados a las 24 horas después de haberse colado. Una vez desmoldados, se marcaron con la nomenclatura de la mezcla para llevar un control, llevándolos a la cámara húmeda bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (23°C +/- 2°C, 95% HR de acuerdo con la norma NMX-C-148-ONNCCE) como se muestra en la Figura 3.18. Los especímenes permanecieron durante 28 días dentro de la cámara húmeda, edad a la cual fueron retirados para su correspondiente ensayo.



Figura 3.18 Almacenamiento y curado de especímenes

3.7 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES

Todos los especímenes fabricados requirieron una preparación previa al momento de ser ensayados, excepto los bloques tipo "Z" para ensayos de corte.

3.7.1 Especímenes para ensayos a compresión

Estos especímenes necesitaron un cabeceo con azufre en las caras superior e inferior como lo muestra la Figura 3.19, para eliminar posibles irregularidades de acabado y asegurar que la carga a aplicar al momento de ensayar, se distribuya uniformemente sobre toda la superficie.



Figura 3.19 Cabeceo con azufre en cilindros para ensayos a compresión

3.7.2 Especímenes para ensayos tipo Luong

Los especímenes para las pruebas del ensayo de corte tipo Luong, se obtuvieron de las probetas de 150 × 150 mm, para ello se cortaron para obtener las alturas requeridas de 40, 60 y 80 mm. Las actividades de corte de cilindros se hicieron mediante una cortadora de disco, marcando y midiendo previamente las probetas.

Una vez teniendo las probetas a las alturas deseadas, se llevó a cabo la elaboración de la ranura de corte, para lo cual se empleó una extractora de corazones. Primeramente a cada una de las probetas se marcaron y se les hizo un trazo guía para realizar la ranura, verificando que está fuera concéntrica al diámetro de la probeta. La ranura se hizo a una profundidad de 10 mm como lo indica la configuración de la geometría de la probeta. En la Figura 3.20 se muestran actividades de corte y ranuras de las probetas.



Figura 3.20 Preparación de especímenes tipo Luong

3.8 NOMENCLATURA DE ESPECÍMENES

Para llevar a cabo un control de cada uno de los especímenes fabricados, se identificaron proporcionándoles un nombre a cada uno de ellos.

3.8.1 Especímenes de compresión

Se fabricaron un total de 18 cilindros; tres cilindros por mezcla, de un total de seis mezclas.

- 9 cilindros de concreto sin fibra
- 9 cilindros de concreto reforzado con fibra de acero

La nomenclatura designada para especímenes de compresión se puede observar en el ejemplo de la Tabla 3.8.

Ej.-

Tabla 3.8 Nomenclatura para ensayos de compresión

Nomenclatura	Tipo de Ensayo	Fibra	No. Especímen
CMP-1	CMP (compresión)	-	1
CMPF-1	CMP (compresión)	F	1

3.8.2 Especímenes para ensayos tipo Luong

En total se elaboraron 72 especímenes tipo Luong, considerando la combinación de las alturas requeridas, los dos diámetros propuestos y los dos tipos de mezcla fabricados como se puede mostrar en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Conjunto de especímenes tipo Luong, según tipo de concreto, altura de probeta y diámetro de ranura

No. Especímenes por conjunto	Tipo de concreto	Altura de probeta, mm	Diámetro de ranura, mm
6	Concreto Sin Fibra	40	75
			100
		60	75
			100
		80	75
			100
	Concreto Reforzado Con Fibra de Acero	40	75
			100
		60	75
			100
		80	75
			100

La nomenclatura que se designó para las probetas tipo Luong se muestra en el ejemplo de la Tabla 3.10

Ej.-

Tabla 3.10 Nomenclatura ensayos tipo Luong

Nomenclatura	Tipo de Ensayo	Fibra	Diámetro ranura de corte	Altura de corte	No. Especímen
CL-100-40-1	CL (cortante Luong)	-	100	40	1
CLF-75-60-3	CL (cortante Luong)	F	75	60	3

3.8.3 Especímenes tipo bloque "Z" para ensayos de corte

Se fabricaron un total de 18 bloques; tres bloques por mezcla, de un total de seis mezclas.

- 9 bloques con concreto sin fibra
- 9 bloques con concreto reforzado con fibra de acero

La nomenclatura designada a este tipo de especímenes se muestra en el ejemplo de la Tabla 3.11

Ej.-

Tabla 3.11 Nomenclatura para bloques tipo "Z"

Nomenclatura	Tipo de Ensayo	Fibra	No. Especímen
CB-1	CB (cortante bloque)	-	1
CBF-1	CB (cortante bloque)	F	1

3.9 REGISTRO DE MEDICIONES DE ESPECÍMENES

Cada uno de los especímenes fue medido y pesado con la finalidad de llevar un control de calidad en cada uno de ellos y tener el registro de estos datos para su aplicación posterior en la obtención de la resistencia al corte y resistencia a compresión dependiendo el caso.

En el anexo A-4 se adjuntan las tablas del registro de las mediciones de especímenes.

3.9.1 Mediciones en probetas tipo Luong

Las mediciones que se efectuaron en las probetas tipo Luong fueron en tres puntos distintos a 120° entre sí por ambas caras. Se tomó registro de la profundidad de ranura (Z), espesor de ranura (e), altura de probeta (h), anchos de corona (A , B y C), peso en kilogramos, así como el diámetro de la probeta. Las lecturas de las mediciones se tomaron como lo muestra la Figura 3.21.

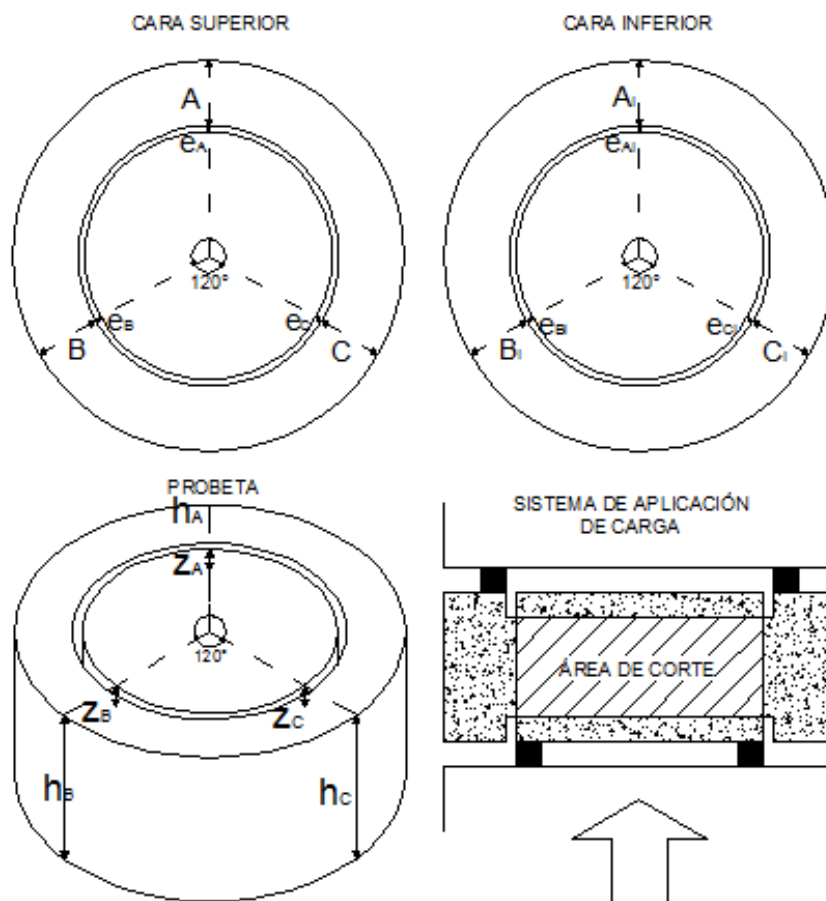


Figura 3.21 Esquema de mediciones en probeta tipo Luong

Se registraron lecturas en tres puntos equidistantes y posteriormente se obtuvieron promedios de estas mismas para el cálculo del área de corte. El registro y la medición de las probetas se muestra en la Figura 3.22.

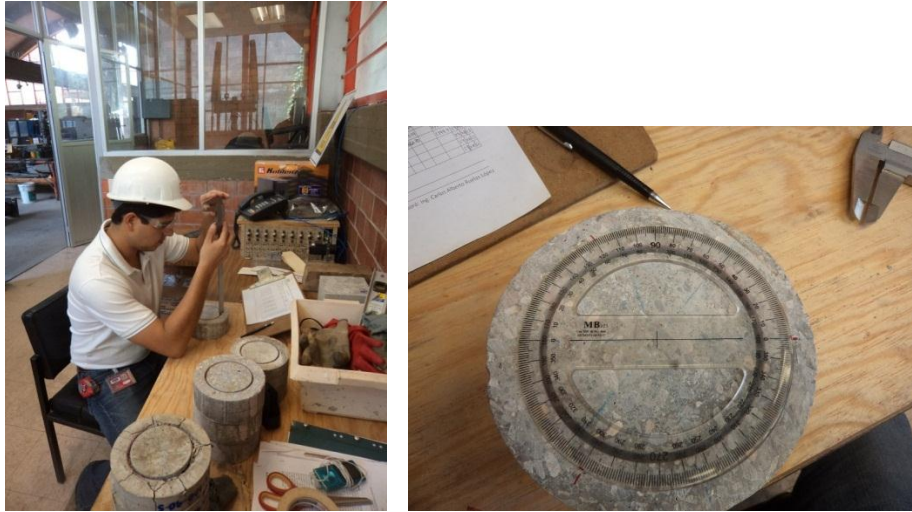


Figura 3.22 Registro de mediciones en probetas tipo Luong

3.9.2 Mediciones en bloque tipo "Z"

Las mediciones efectuadas en los bloques tipo "Z" para ensayos a corte, fueron la altura del espécimen (H), la longitud entre ranuras (h), la longitud a la que fueron colocados los marcos de aluminio (h'), el ancho (A), el espesor (B), así como su peso. Cabe señalar que las medidas H, h y h' fueron tomadas en ambas caras del bloque. Lo anterior se muestra en las Figura 3.23 y 3.24.

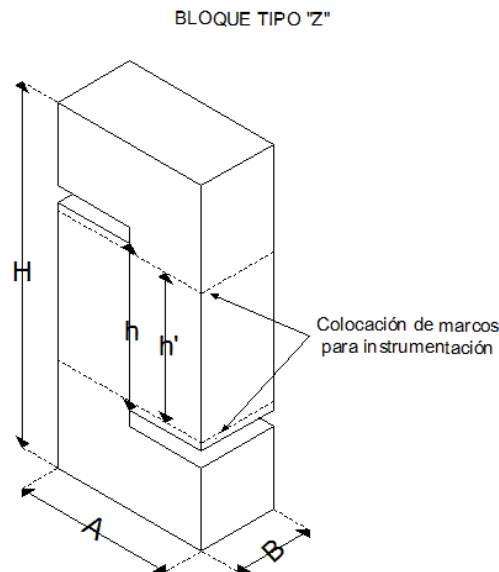


Figura 3.23 Esquema de mediciones en bloque tipo "Z"



Figura 3.24 Registro de peso en bloques tipo "Z"

3.9.3 Mediciones en cilindros de compresión

Para los cilindros de ensayos de compresión se tomó lectura de altura y diámetro en tres puntos distintos como se muestra en la Figura 3.25, así como también se llevó registro del peso en kg como lo muestra la Figura 3.26.

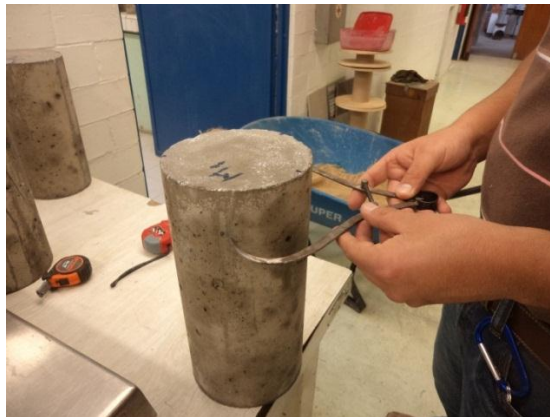


Figura 3.25 Medición de diámetro en cilindro de compresión

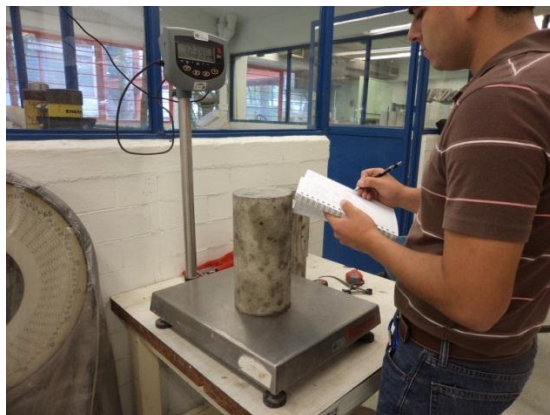


Figura 3.26 Registro de peso de cilindros de compresión

3.10 IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS

3.10.1 Introducción

Para la implementación del método propuesto, ensayo tipo Luong, como ya se mencionó en apartados anteriores, se hicieron conjuntamente ensayos de corte en bloques tipo “Z”, así como también se realizaron los ensayos de resistencia a compresión.

La investigación consistió en la realización de tres pruebas:

- Ensayo a resistencia a la compresión
- Resistencia a corte tipo Luong
- Ensayo a corte tipo bloque “Z”

Como su nombre lo indica, de los ensayos a compresión se obtiene la resistencia a la compresión y de los ensayos de corte tipo Luong y bloque “Z” se obtiene la resistencia al corte para hacer un comparativo posterior entre estos.

3.10.2 Actividades previas

3.10.2.1 Fabricación de anillos de carga

Se fabricaron anillos de carga para la configuración de los ensayos tipo Luong. En la fabricación se usó un material resistente para que no se deformen con la aplicación de carga. Las dimensiones de los anillos se muestran en la Figura 3.27.

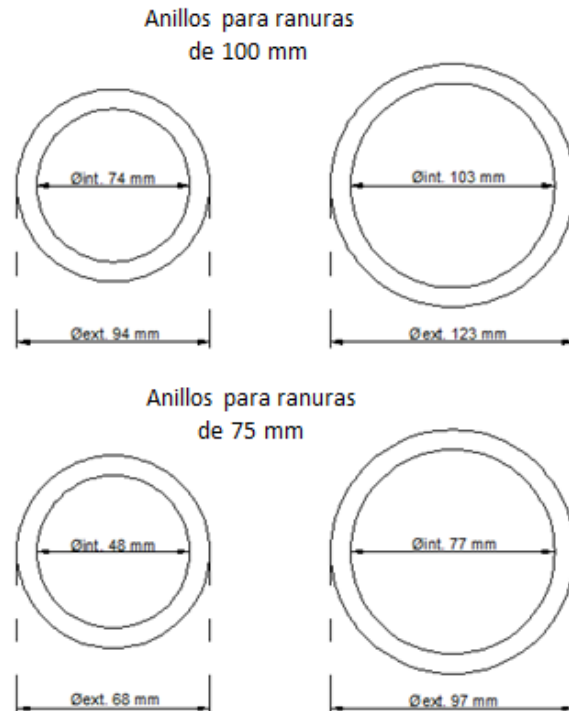


Figura 3.27 Dimensiones de anillos de carga

Para cada arreglo referido al diámetro de la ranura de la probeta, se fabricaron dos anillos; para las ranuras de 75 mm, los anillos tienen un diámetro exterior de 68 mm y el otro de 97 mm con un espesor de 10 mm. Para las ranuras de 100 mm, los anillos tienen un diámetro exterior de 94 mm y el otro de 123 mm con un espesor de 10 mm.

Durante el ensayo, el anillo de menor diámetro, en ambos casos, es colocado en la parte inferior de la probeta y el anillo de mayor diámetro se coloca en la parte superior.

Las Figuras 3.28 y 3.29 muestran las fotografías de los anillos de carga para diámetros de ranura de 75 mm y 100 mm respectivamente.



Figura 3.28 Anillos para ranuras de 75 mm de diámetro



Figura 3.29 Anillos para ranuras de 100 mm de diámetro

3.10.2.2 Calibración de equipo de instrumentación

Antes de iniciar las pruebas, se verificó que el equipo de instrumentación estuviera perfectamente calibrado, con la finalidad de que al momento de la obtención de datos no se manifesten errores. Se verificó todo el sistema del marco de prueba MTS como la adquisición de datos, los rangos de lectura, las velocidades de prueba y las señales.

Se calibraron tres transductores de desplazamiento (CDP), dos de ellos con un rango de 10 mm y el otro con 25 mm de rango. Cada uno de estos, fue calibrado con el software del MTS mediante un tornillo de calibración. La Figura 3.30 muestra las actividades de calibración en los transductores de desplazamiento.



Figura 3.30 Calibración de transductores de desplazamiento

3.10.3 Equipo

3.10.3.1 Prensa MTS

Para los ensayos de resistencia a corte se utilizó un marco de carga MTS (Material Test System) con celda de carga con una capacidad de 25 Tn, la prensa MTS es un equipo servo hidráulico de lazo cerrado que permite el control por desplazamiento. En la Figura 3.31 se muestra una fotografía del marco MTS empleado.



Figura 3.31 Prensa MTS

3.10.3.2 Prensa SATEC

Se utilizó una prensa SATEC para realizar las pruebas de resistencia a compresión, el cual es de una capacidad de 226.8 Tn. La Figura 3.32 muestra la prensa SATEC utilizado en los ensayos de compresión.



Figura 3.32 Prensa SATEC

3.10.4 Instrumentación

3.10.4.1 Instrumentación en probetas tipo Luong

Para medir las deformaciones axiales se emplearon transductores de desplazamiento y para la deformación circunferencial, se empleó una cadena con extensómetro. Los transductores de desplazamiento fueron de dos tipos: dos con un rango de 10 mm y el otro de 25 mm, los cuales son utilizados para medir el desplazamiento en la zona de falla de la probeta. Estos se colocaron a 120° entre sí, los cuales son montados sobre bases magnéticas.

La Figura 3.33 muestra un transductor de desplazamiento con un rango de 10 mm y en la Figura 3.34 se muestra una fotografía de una base magnética.



Figura 3.33 Transductor de desplazamiento con un rango de 10 mm



Figura 3.34 Base magnética para montaje de transductores de desplazamiento

También se le colocó a cada espécimen una cadena con extensómetro, la cual tiene la función de medir la deformación diametral de las probetas. La cadena tiene incorporado un transductor de desplazamiento, el cual va registrando la deformación en milímetros. La cadena se muestra en la Figura 3.35.



Figura 3.35 Cadena con transductor de desplazamiento para medir deformación diametral

3.10.4.2 Instrumentación en bloques tipo "Z"

La instrumentación llevada a cabo en los bloques tipo "Z" se realizó mediante dos transductores de desplazamiento que se fijan en dos marcos rectangulares fabricados de aluminio, sujetos al bloque mediante tornillos, lo cuales fueron colocados en la zona de falla del bloque.

La instrumentación se llevó a cabo como lo muestra la Figura 3.36, en la cual se observa el esquema de configuración del ensayo y montaje de los transductores de desplazamiento.

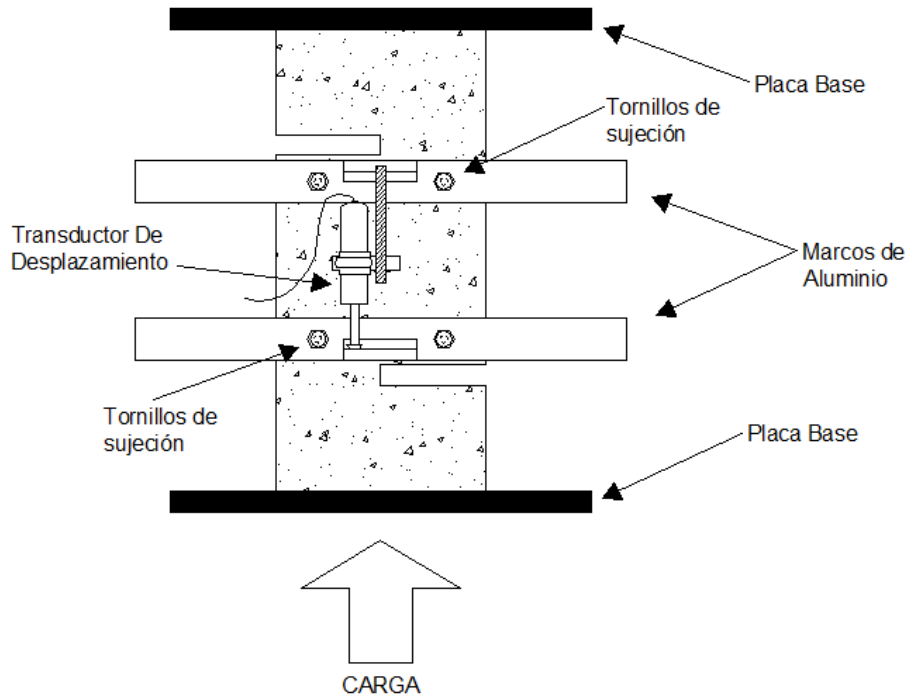


Figura 3.36 Instrumentación en bloques tipo "Z"

Los transductores de desplazamiento fueron colocados al centro y lo más cerca del bloque.

3.10.5 Ensayo a compresión

Se fabricaron un total de 18 cilindros moldeados de 150 × 300 mm para ensayos de compresión, nueve de estos fueron fabricados con concreto sin fibra y los nueve restantes fueron con concreto con fibra de acero.

El ensayo se realizó en la prensa SATEC por control de carga a una velocidad de ensayo de 25 Tn/min. Se colocan los cilindros en la base del marco, perfectamente alineados con el pistón de carga y se da inicio a las pruebas. La Figura 3.37 muestra un ensayo típico de compresión.



Figura 3.37 Ensayo a compresión

3.10.6 Ensayo tipo Luong

Los ensayos se llevaron a cabo en el marco MTS. La prueba se realizó por control de desplazamiento a una velocidad de 0.10 mm/min.

El procedimiento de ensayo fue el siguiente:

- Se coloca una placa base sobre el cabezal del pistón de carga del marco MTS marcada con tres líneas a 120° entre sí, las cuales sirven de guía para la colocación de los transductores de desplazamiento. Se realiza un trazo guía de un círculo sobre esta placa al centro, con la misma dimensión del diámetro de la probeta, para colocar el espécimen centrado.
- Se colocan los anillos de carga en ambas caras de las probetas, asegurándolos con cinta adherible, para que estuvieran sujetos al espécimen y asegurar que estuvieran céntricos con las ranuras de la probeta. Se coloca el espécimen con los anillos sobre la plaza base antes mencionada.
- Posteriormente, se coloca la cadena con extensómetro alrededor y al centro de la circunferencia de la probeta, para realizar la medición de deformación diametral.
- Se monta sobre el espécimen, y por consiguiente sobre el anillo de carga colocado en la cara superior de la probeta, un bloque de acero auxiliar de 150 mm de diámetro y 50 mm de altura, con la finalidad de facilitar las maniobras de montaje de la instrumentación.
- Después se colocan los transductores de desplazamiento, colocados en sus respectivas bases magnéticas, en las líneas de la placa base trazadas a 120°
- Una vez realizada la configuración de ensayo, se verifica la adquisición de datos del marco MTS y así iniciar la prueba.

En la Figura 3.38 se muestra la configuración de un ensayo típico de cortante Luong.

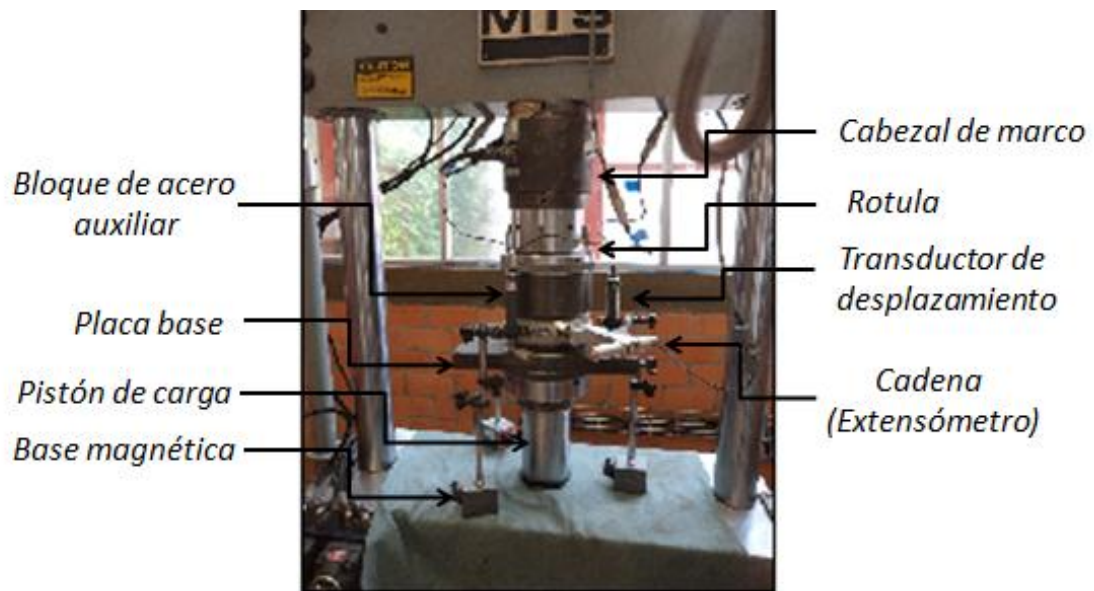


Figura 3.38 Ensayo típico de corte Luong

3.10.7 Ensayo de corte tipo bloque "Z"

Los ensayos se llevaron a cabo en el marco MTS. La prueba se realizó por control de desplazamiento, a una velocidad de desplazamiento de 0.25 mm/min.

El procedimiento de ensayo fue el siguiente:

- Primeramente se desmontan la rótula y el cabezal del pistón de carga del marco MTS.
- Se coloca una placa base sobre el pistón de carga. Se trazan líneas auxiliares sobre la placa, al centro de cada uno de sus lados.
- Se marcan los bloques a ensayar, al centro de cada una de sus caras, con la finalidad de alinearlos con la placa base. También se marcan líneas base para la colocación de marcos de aluminio para la instrumentación como muestra en la Figura 3.39.
- Se colocan los bloques tipo "Z" sobre la placa base, alineando cada una de sus caras de forma centrada, con las líneas auxiliares de la placa base.
- Se montan los transductores de desplazamiento en los marcos de aluminio. Se coloca un transductor de 10 mm de rango en la cara frontal y el otro transductor de 10 mm en la cara posterior de los marcos.
- Se colocan los marcos de aluminio con los transductores de desplazamiento, sobre las líneas base previamente marcadas en la zona de falla de corte del espécimen. Esto se realiza mediante tornillos de sujeción colocados en el marco de aluminio, los cuales se hacen llegar a tope a las caras del bloque, hasta el punto donde no haya movimiento en los marcos de aluminio.
- Se verifica la adquisición de datos del equipo MTS y se da inicio al ensayo

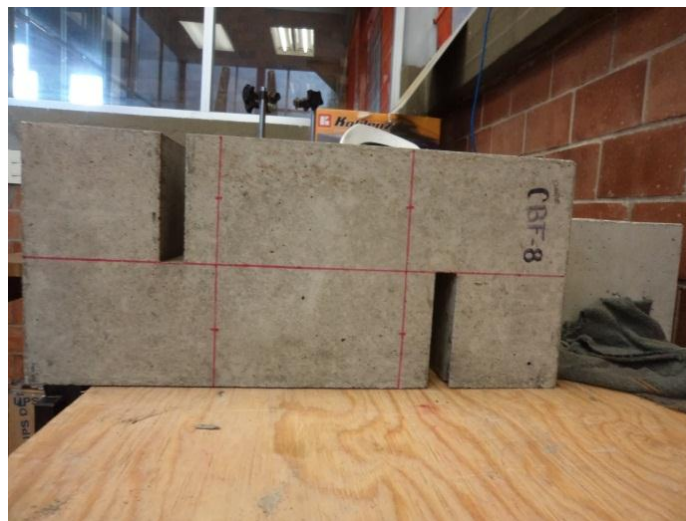


Figura 3.39 Trazos guía en bloques tipo "Z"

En la Figura 3.40 se muestra la configuración un ensayo típico de corte con bloques tipo "Z", así como cada una de los componentes que integran la configuración del mismo.

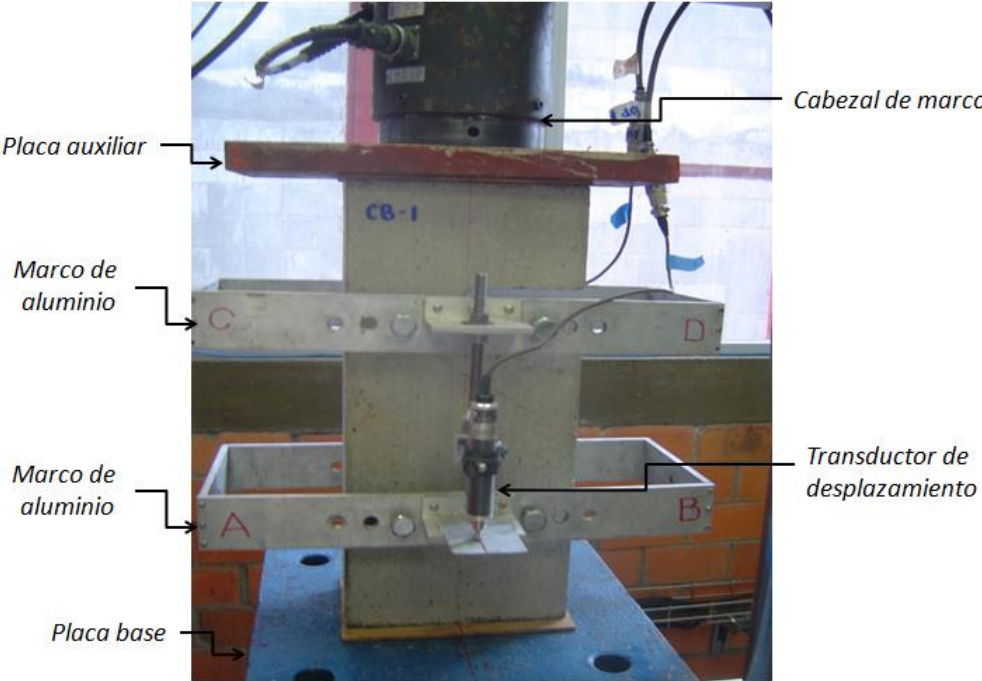


Figura 3.40 Configuración de ensayo bloque tipo "Z"

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ENSAYOS A COMPRESIÓN

4.1.1 Resultados de resistencia a compresión

La resistencia a compresión se obtuvo de la fórmula del esfuerzo; $\sigma = \frac{P}{A}$ dónde:

σ , es el esfuerzo o resistencia a la compresión en kg/cm^2

P, es la carga máxima resistente en kg

A, es el área donde se aplica la carga en cm^2

Los resultados promedio de los tres cilindros ensayados por cada una de las mezclas fabricadas, se muestran en la Tabla 4.1 y Figura 4.1

Tabla 4.1 Resultados promedio a compresión

Tipo De Concreto	Mezcla	Resistencia Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Sin Fibra	M1	73,367	403	40	1.2
	M2	73,533	406	40	
	M3	73,833	412	40	
Con Fibra	M4	69,200	385	38	1.9
	M5	71,967	400	39	
	M6	70,733	391	38	

En el anexo A-5 del presente trabajo, se adjuntan las tablas de cada uno de los cilindros ensayados a compresión.

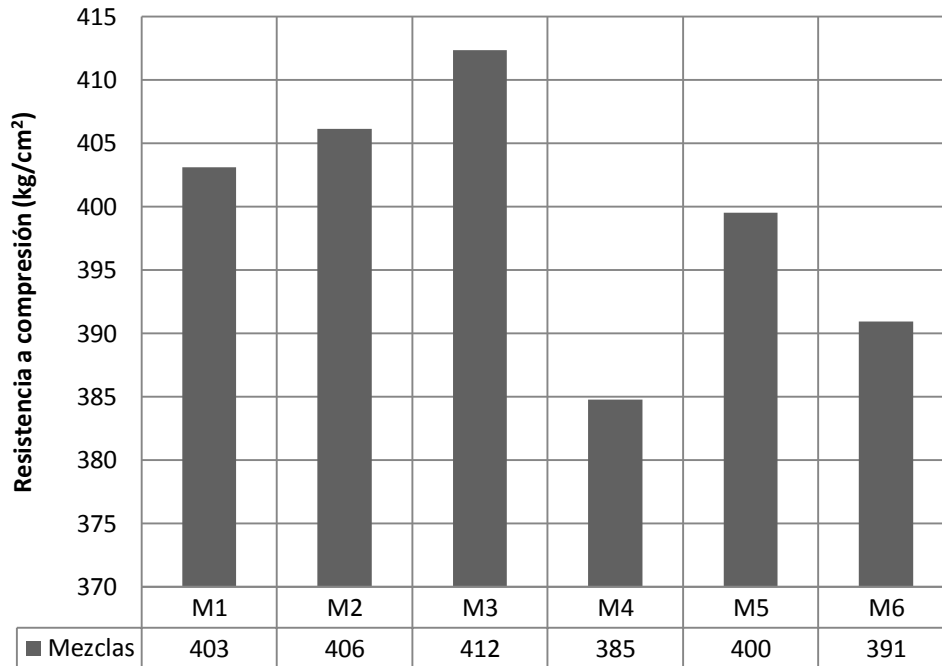


Figura 4.1 Resistencias promedio

4.1.2 Análisis de resultados

La resistencia a compresión promedio de las mezclas de concreto sin fibra, M1 a M3, fue de 407 kg/cm² con un coeficiente de variación (CV) de 1.2% y con un porcentaje de contenido de aire promedio del 2.0%, mientras que para las mezclas con fibra fue de 392 kg/cm² con un CV de 1.9% y un porcentaje de contenido de aire promedio de 2.8%. Hay una ligera disminución de la resistencia en el caso del concreto con fibra, del orden del 5%. Esta disminución de la resistencia se debe probablemente a un mayor número de vacíos debido a la incorporación de fibras y un mayor porcentaje de aire en la mezcla con fibra. También puede ser probablemente a un mejor acomodo de la mezcla en el caso del concreto sin fibra.

En base a los resultados obtenidos, se puede decir que las resistencias a compresión resultantes de los mismos ensayos, son adecuadas para el diseño de mezcla que se planteó desde un inicio, con resistencias de 400 kg/cm².

Como se muestra en la Figura 4.1, las mezclas fabricadas con concreto sin fibra (M1, M2 y M3) tuvieron ligeramente resistencias mayores a comparación de los concretos reforzados con fibra. Estos resultados de menor resistencia en concretos con inclusión de fibra pueden ser debido a la distribución de las mismas dentro de los especímenes ensayados.

La Tabla 4.1 también muestra el coeficiente de variación de los resultados. En todos los casos, la variabilidad es bastante aceptable, con valores menores a 3.5%.

4.2 ENSAYOS LUONG

4.2.1 Modo de falla

Para analizar el modo de falla, es conveniente hacer un análisis por conjuntos de los tipos de probetas ensayadas debido a sus variables como son el tipo de concreto con las que fueron fabricadas, la altura y diámetros de ranura de la probeta.

Probetas de concreto sin fibra, altura de 40 mm y diámetro de ranura de 100 mm

- En la cara superior se presentan por lo general entre siete y ocho grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 83 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central.
- En la cara inferior se presentan entre tres y cuatro grietas principales en un 67 % de las probetas, las cuales atraviesan el núcleo central. Existe presencia de grietas secundarias de menor grado en la mayoría de los casos.
- Existe desprendimiento del núcleo central en un 50 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 100 %.

En la Figura 4.2 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.2 Modo de falla en probetas de concreto sin fibra, con 40 mm de altura y 100 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto sin fibra, altura de 40 mm y diámetro de ranura de 75 mm

- En la cara superior se presentan por lo general entre cinco y seis grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central.
- En la cara inferior se presentan por lo general cinco grietas principales en un 67 % de las probetas, las cuales atraviesan el núcleo central.
- Existe desprendimiento del núcleo central en un 50 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 100 %.

En la Figura 4.3 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.3 Modo de falla en probetas de concreto sin fibra, con 40 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto sin fibra, altura de 60 mm y diámetro de ranura de 100 mm

- En la cara superior se presentan entre cinco y seis grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 83 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central.
- En la cara inferior no hay presencia de grietas principales en un 100 % de las probetas. Tampoco existe presencia de grietas secundarias.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 4.4 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.4 Modo de falla en probetas de concreto sin fibra, con 60 mm de altura y 100 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto sin fibra, altura de 60 mm y diámetro de ranura de 75 mm

- En la cara superior se presentan por lo general entre cuatro y cinco grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central y con presencia de grietas secundarias de menor grado en un 50% de las probetas.
- En la cara inferior se presentan entre tres y cuatro grietas principales en un 83 % de las probetas, las cuales atraviesan el núcleo central. No existe presencia de grietas secundarias.
- Existe desprendimiento del núcleo central en un 33 % del total de las probetas.
- Las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 100 %.

En la Figura 4.5 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.5 Modo de falla en probetas de concreto sin fibra, con 60 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto sin fibra, altura de 80 mm y diámetro de ranura de 100 mm

- En la cara superior se presentan cuatro y cinco grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 83 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias en todos los casos.
- En la cara inferior no hay presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas ensayadas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 4.6 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.6 Modo de falla en probetas de concreto sin fibra, con 80 mm de altura y 100 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto sin fibra, altura de 80 mm y diámetro de ranura de 75 mm

- En la cara superior se presentan entre cuatro y cinco grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias en un 50 % de las probetas.
- En la cara inferior no se presentan grietas principales en un 83 % de las probetas. Tampoco existe presencia de grietas secundarias.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 4.7 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.7 Modo de falla en probetas de concreto sin fibra, con 80 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto con fibra, altura de 40 mm y diámetro de ranura de 100 mm

- En la cara superior se presentan por lo general entre dos, tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias.
- En la cara inferior no hay presencia grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 50 %.

En la Figura 4.8 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.

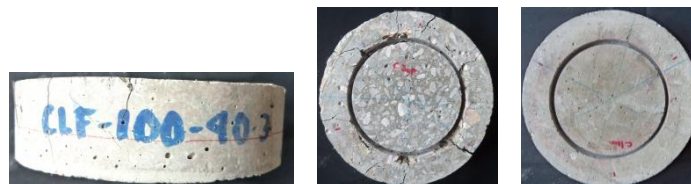


Figura 4.8 Modo de falla en probetas de concreto con fibra, con 40 mm de altura y 100 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto con fibra, altura de 40 mm y diámetro de ranura de 75 mm

- En la cara superior se presentan entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias en la mayoría de los casos.
- En la cara inferior no existe presencia de grietas principales y secundarias en un 83 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 50 %.

En la Figura 4.9 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.

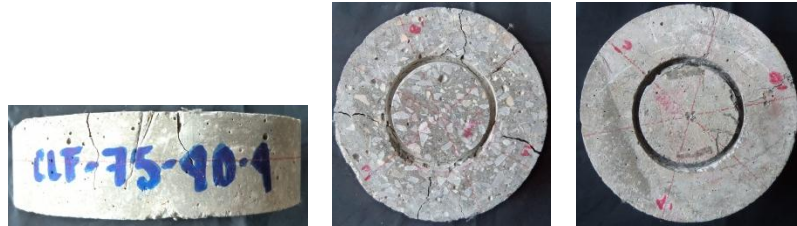


Figura 4.9 Modo de falla en probetas de concreto con fibra, con 40 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto con fibra, altura de 60 mm y diámetro de ranura de 100 mm

- En la cara superior se presentan entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 83 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias.
- En la cara inferior no hay presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 4.10 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.10 Modo de falla en probetas de concreto con fibra, con 60 mm de altura y 100 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto con fibra, altura de 60 mm y diámetro de ranura de 75 mm

- En la cara superior se presentan entre dos y tres grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 83 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias.
- En la cara inferior no hay presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 4.11 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.11 Modo de falla en probetas de concreto con fibra, con 60 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto con fibra, altura de 80 mm y diámetro de ranura de 100 mm

- En la cara superior se presentan entre una y dos grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias.
- En la cara inferior no hay presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 50 %.

En la Figura 4.12 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.12 Modo de falla en probetas de concreto con fibra, con 80 mm de altura y 100 mm de diámetro de ranura

Probetas de concreto con fibra, altura de 80 mm y diámetro de ranura de 75 mm

- En la cara superior se presentan dos y tres grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias.
- En la cara inferior no hay presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 4.13 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 4.13 Modo de falla en probetas de concreto con fibra, con 80 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura

De los apartados anteriores, se puede concluir los siguientes puntos sobre el modo de falla de los conjuntos de probetas ensayadas.

- En probetas con menor altura existe mayor presencia de fisuras. A medida de que aumenta la altura de la probeta, la presencia de grietas, así como su magnitud, disminuyen de forma considerable.
- Las grietas en forma radial que ocurren en el ancho de corona, siempre se presentan en la cara superior, en donde es colocado el anillo de carga de mayor diámetro, sin atravesar el núcleo central de la probeta.
- En probetas con mayor ancho de corona, o lo que es igual a un menor diámetro de ranura (75 mm), se presencia sutilmente un mayor número de grietas, a diferencia de las probetas con diámetro de ranura de 100 mm.
- Existe una disminución considerable de grietas en probetas fabricadas con concreto reforzado con fibras, esto se debe posiblemente al trabajo trabazón que generan las fibras dentro del espécimen.

En el anexo A-6 del presente trabajo se presenta las fichas técnicas de los ensayos, donde se muestra el modo de falla de cada espécimen ensayado.

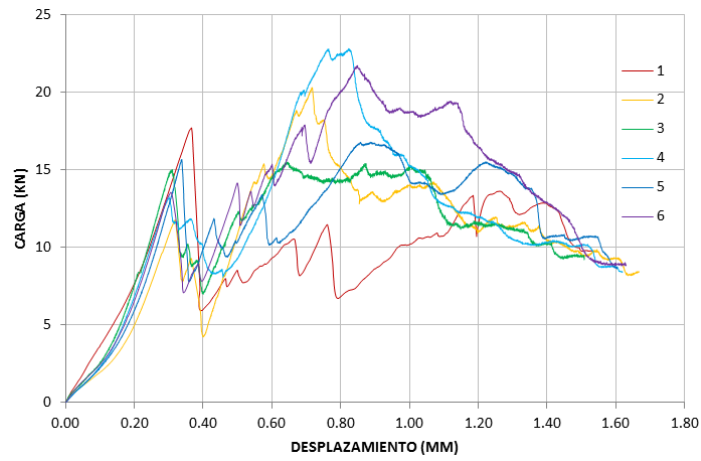
4.2.2 Comportamiento de curvas de carga vs desplazamiento

Con el procesamiento de datos de las pruebas, arrojados por el software del sistema MTS, se obtuvieron gráficas de carga vs desplazamiento, registrando el valor de la carga en KN y el desplazamiento controlado en mm registrado por los transductores de desplazamiento. La adquisición de datos se obtuvo en intervalos de tiempo de 0.2 segundos.

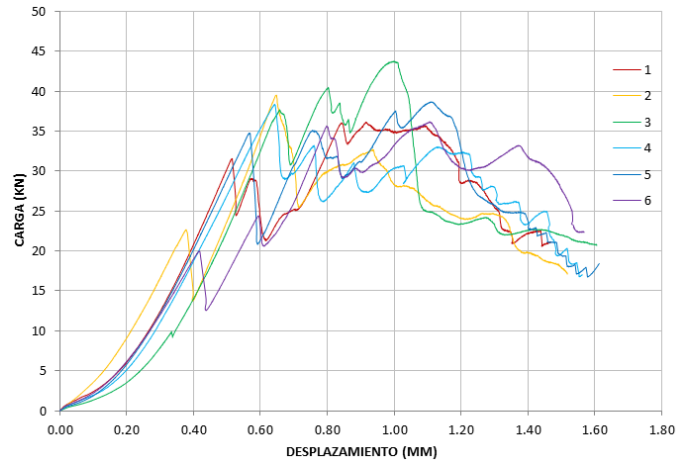
Para poder observar el comportamiento de las curvas con mayor facilidad y poder tener una comparativa entre probetas de un mismo grupo, (similares en su geometría, ranuras de corte y tipo de concreto con el que fueron fabricadas), las gráficas se dividen en conjuntos mostrando las curvas de probetas del mismo diseño. Las curvas carga vs desplazamiento se muestran en las siguientes gráficas.

La Gráfica 4.1 muestra el conjunto de probetas fabricadas con concreto sin fibra, con diámetros de ranura de 100 mm. La Gráfica 4.1 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

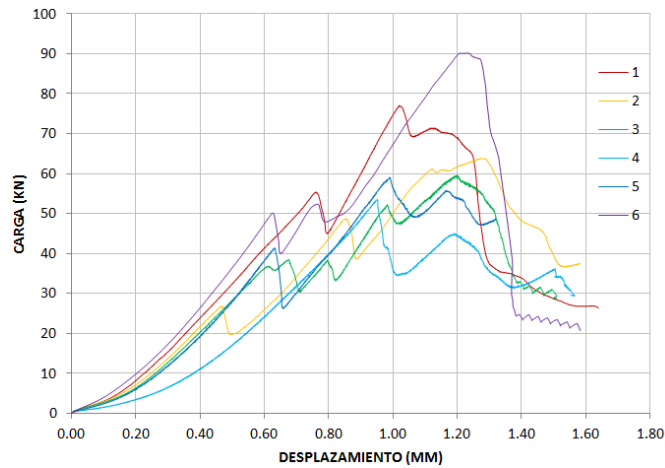
a) Probetas 40 mm altura



b) Probetas 60 mm altura



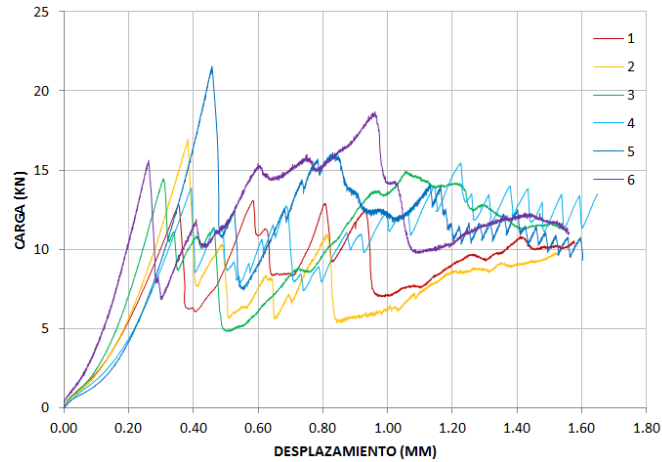
c) Probetas 80 mm altura



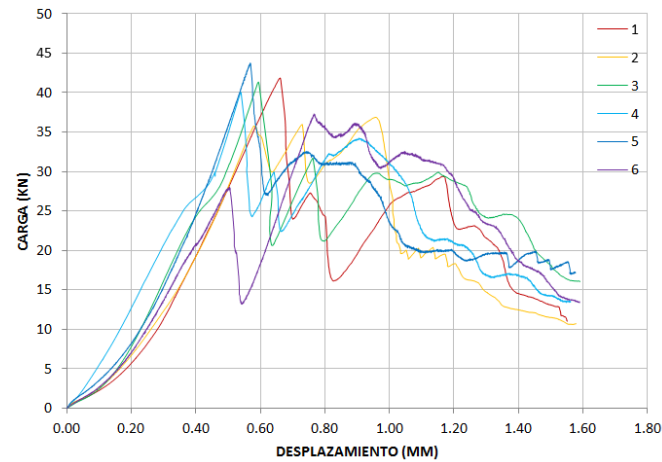
Gráfica 4.1 Curvas carga vs deslocamento en probetas de concreto sin fibra y con ranuras de corte de 100 mm.

La Gráfica 4.2 muestra el conjunto de probetas fabricadas con concreto sin fibra, con diámetros de ranura de 75 mm. La Gráfica 4.2 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

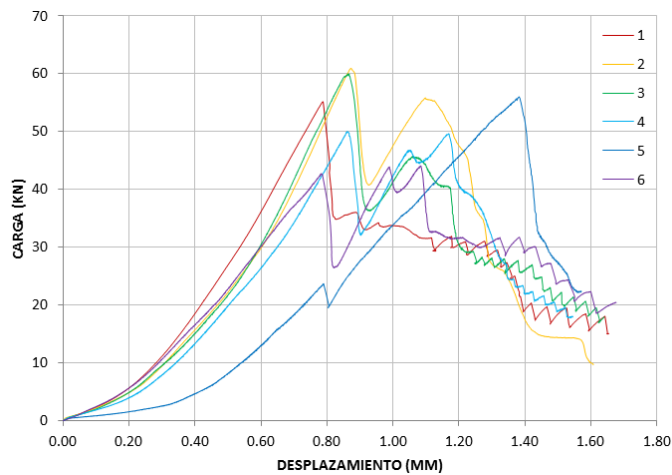
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



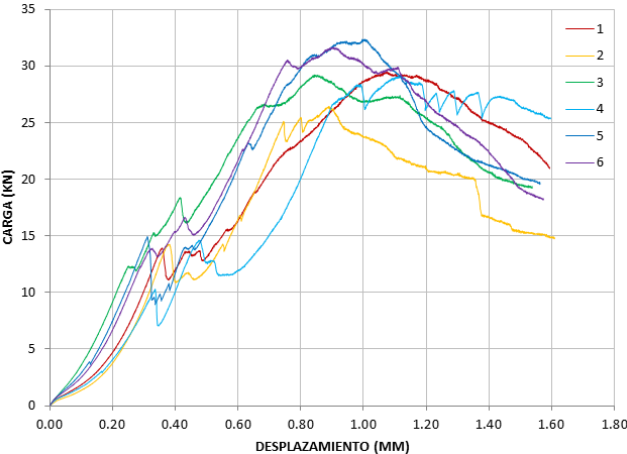
c) *Probetas 80 mm altura*



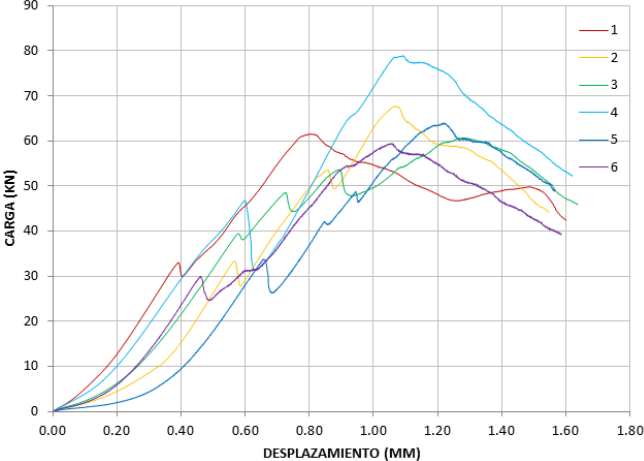
Gráfica 4.2 Curvas carga vs desplazamiento en probetas de concreto sin fibra y con ranuras de corte de 75 mm de diámetro.

La Gráfica 4.3 muestra el conjunto de probetas fabricadas de concreto reforzado con fibra, con diámetros de ranura de 100 mm. La Gráfica 4.3 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura.

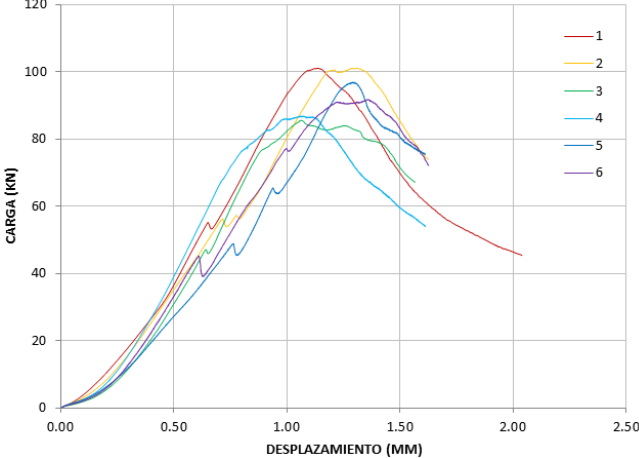
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



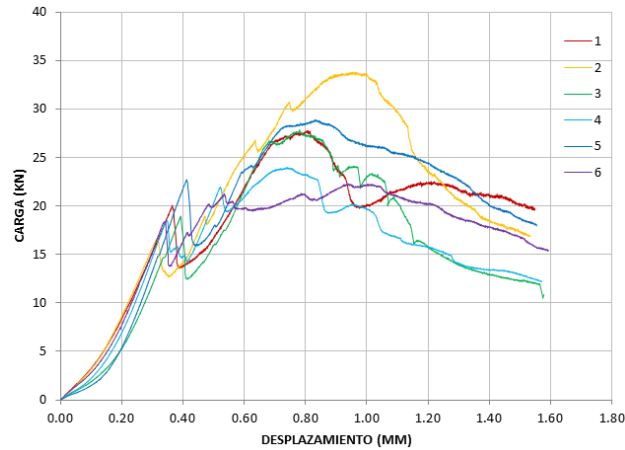
c) *Probetas 80 mm altura*



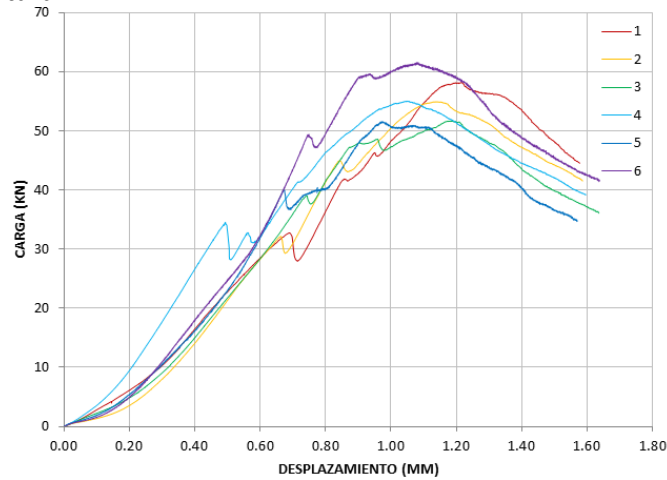
Gráfica 4.3 Curvas carga vs desplazamiento en probetas de concreto reforzado con fibra y con ranuras de corte de 100 mm de diámetro.

La Gráfica 4.4 muestra el conjunto de probetas fabricadas de concreto reforzado con fibra, con diámetros de ranura de 75 mm. La Gráfica 4.4 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

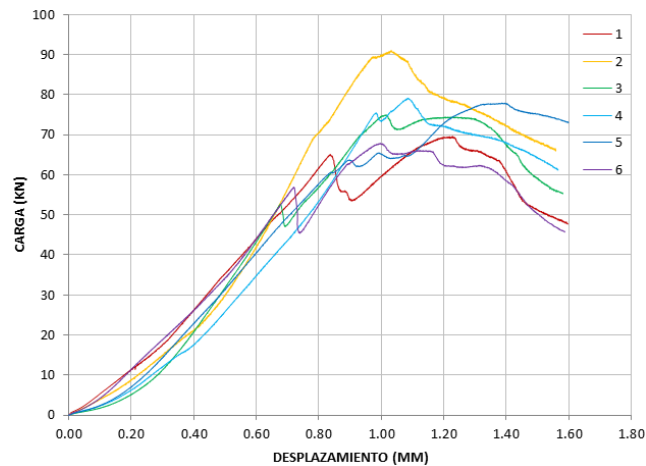
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



c) *Probetas 80 mm altura*



Gráfica 4.4 Curvas carga vs desplazamiento en probetas de concreto reforzado con fibra y con ranuras de corte de 75 mm de diámetro.

4.2.3 Comportamiento de curvas resistencia al corte vs desplazamiento

Con el área de corte, los datos de carga y desplazamiento de los ensayos, se obtuvieron gráficas de curvas de resistencia al corte vs desplazamiento.

La resistencia al corte se obtuvo mediante la fórmula del esfuerzo; $\sigma = \frac{P}{A_c}$ dónde:

σ , es el esfuerzo o resistencia al corte en MPa

P, es la carga máxima resistente en KN

A_c , es el área de corte en cm^2

El área se calculó con las mediciones hechas en los especímenes y es el perímetro de la ranura de corte por la altura efectiva de la misma ranura. En la Figura 4.14 se muestra el área de corte calculada con las mediciones obtenidas.

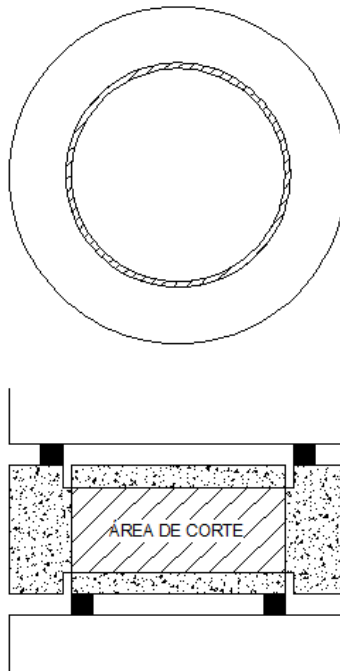


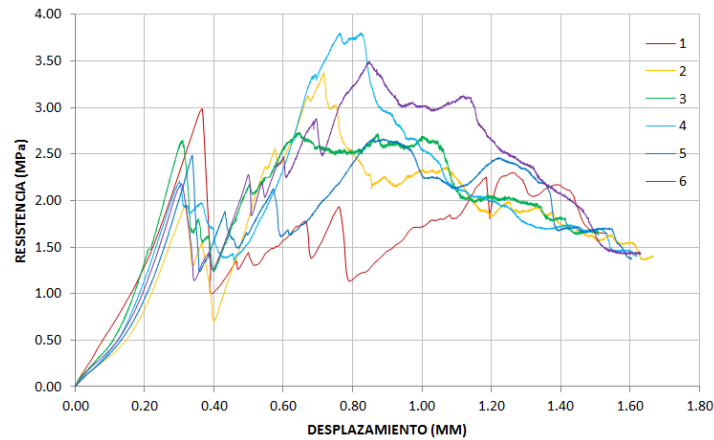
Figura 4.14 Área de corte de probetas tipo Luong

Las mediciones de las dimensiones están plasmadas en las tablas del control de registro de mediciones (Anexo A-4) y en cada una de las fichas técnicas anexadas (Anexo A-6).

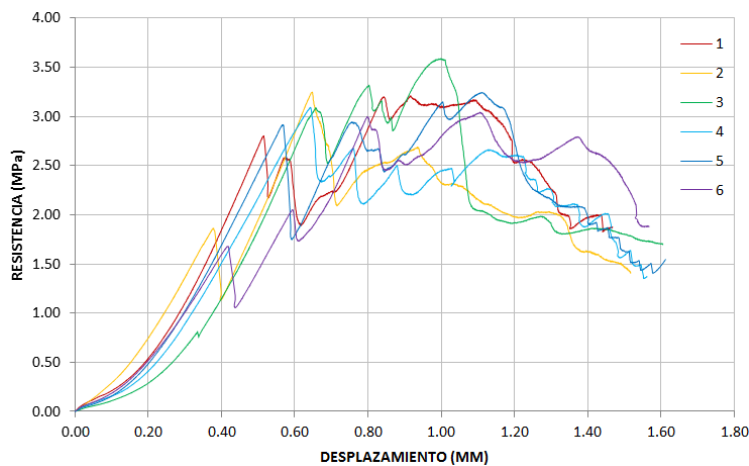
Los resultados de resistencia al corte obtenidos de los ensayos se pueden plasmar en las siguientes gráficas para cada conjunto de especímenes ensayados. En las fichas técnicas de cada uno de los ensayos, se muestra la gráfica individual.

La Gráfica 4.5 muestra el conjunto de probetas fabricadas con concreto sin fibra, con diámetros de ranura de 100 mm. La Gráfica 4.5 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

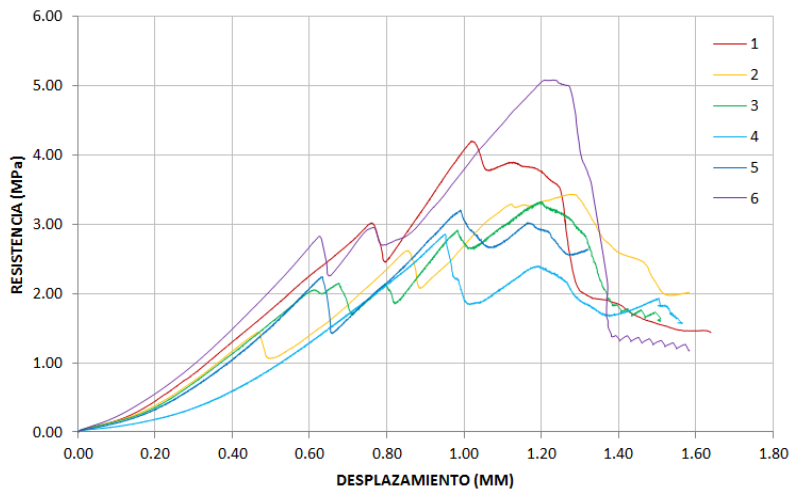
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



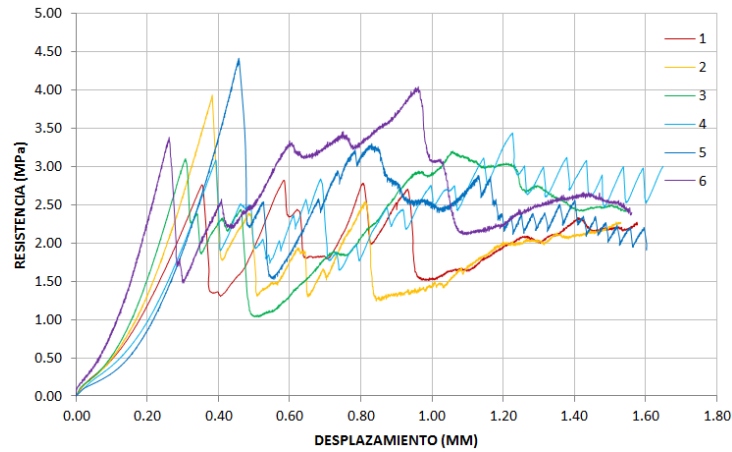
c) *Probetas 80 mm altura*



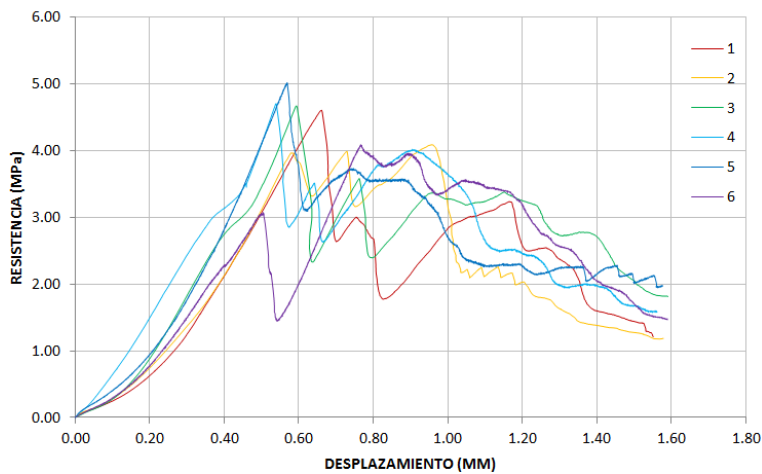
Gráfica 4.5 Curvas resistencia al corte vs desplazamiento en probetas de concreto sin fibra y con ranuras de corte de 100 mm.

La Gráfica 4.6 muestra el conjunto de probetas fabricadas con concreto sin fibra, con diámetros de ranura de 75 mm. La Gráfica 4.6 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

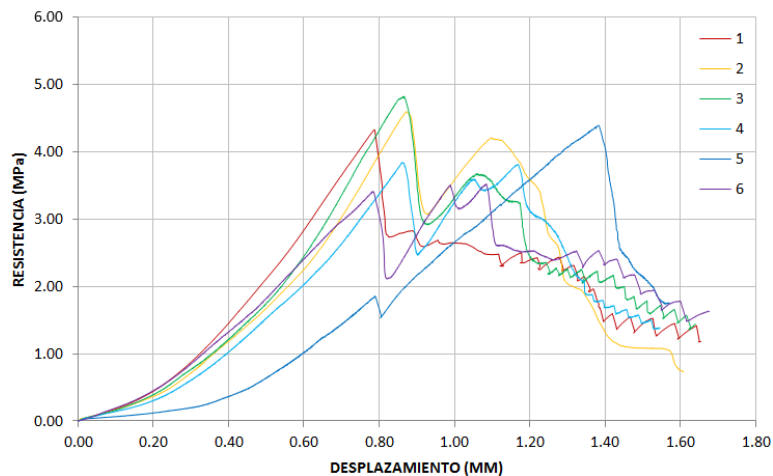
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



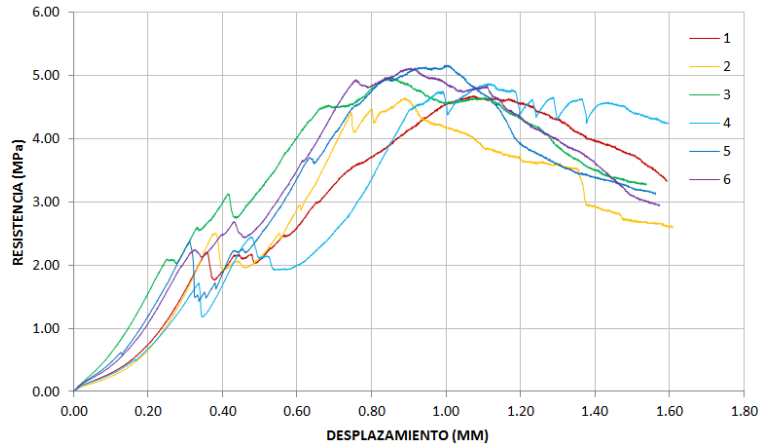
c) *Probetas 80 mm altura*



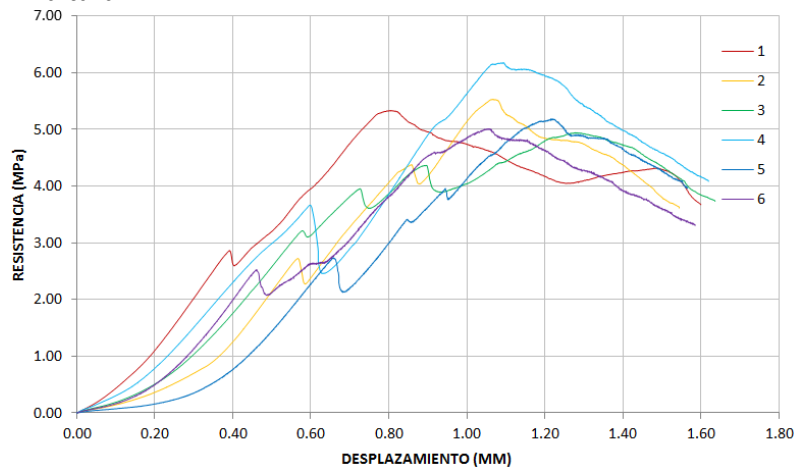
Gráfica 4.6 Curvas resistencia al corte vs desplazamiento en probetas de concreto sin fibra y con ranuras de corte de 75 mm de diámetro.

La Gráfica 4.7 muestra el conjunto de probetas fabricadas de concreto reforzado con fibra, con diámetros de ranura de 100 mm. La Gráfica 4.7 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura.

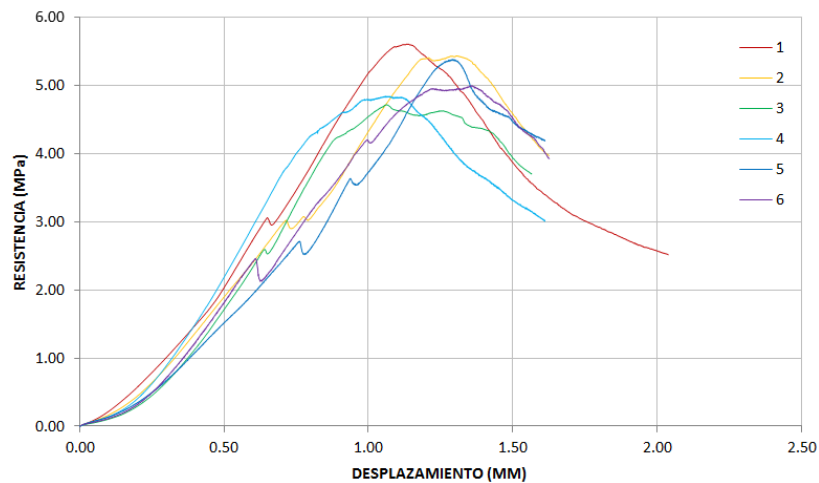
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



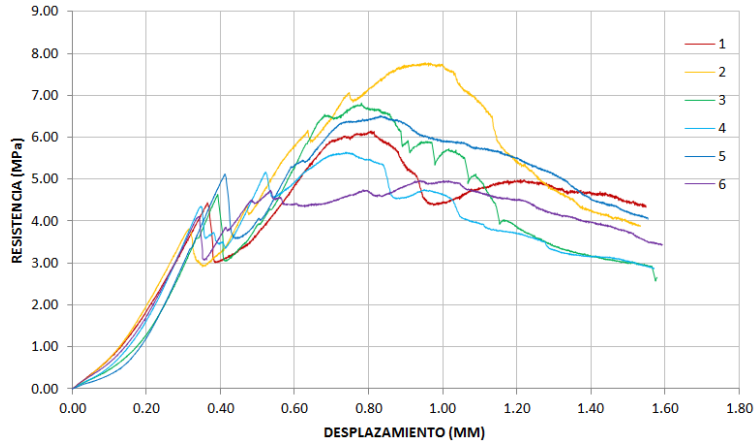
c) *Probetas 80 mm altura*



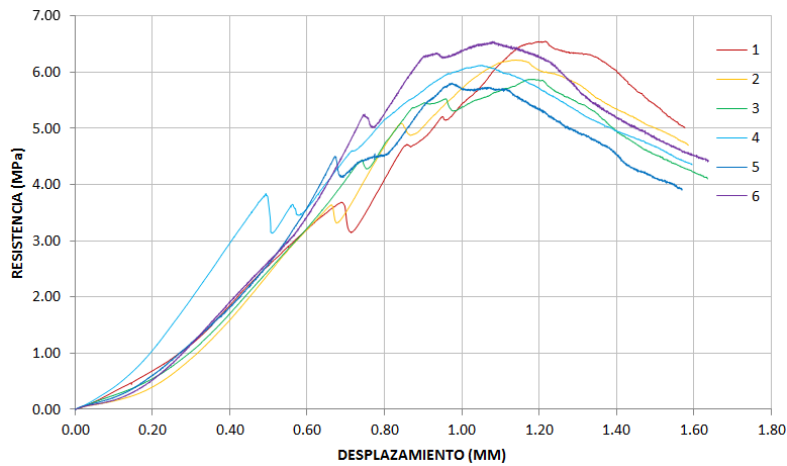
Gráfica 4.7 Curvas resistencia al corte vs desplazamiento en probetas de concreto reforzado con fibra y con ranuras de corte de 100 mm de diámetro.

La Gráfica 4.8 muestra el conjunto de probetas fabricadas de concreto reforzado con fibra, con diámetros de ranura de 75 mm. La Gráfica 4.8 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

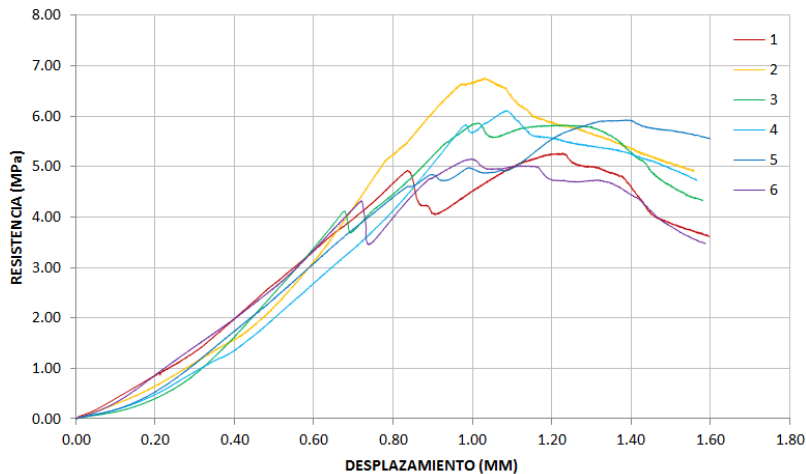
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



c) *Probetas 80 mm altura*



Gráfica 4.8 Curvas resistencia al corte vs desplazamiento en probetas de concreto reforzado con fibra y con ranuras de corte de 75 mm de diámetro.

4.2.4 Comportamiento de curvas de deformación diametral

La deformación diametral de cada una de las probetas fue medida con la instrumentación implementada a través de la cadena con extensómetro, con la finalidad de medir y ver el comportamiento de los cambios lineales del diámetro de la probeta.

La adquisición de datos se obtuvo de datos de carga-desplazamiento del extensómetro. Al igual fueron procesados los datos en una hoja de cálculo para la obtención de gráficas.

El comportamiento de las curvas es muy similar entre probetas del mismo conjunto. Al inicio de la prueba el extensómetro se mantiene con registro casi nulo de deformación. Al momento de presentarse fracturas en el espécimen, el extensómetro comienza a registrar mayores lecturas del desplazamiento diametral que se tiene en la probeta, registrando dicho desplazamiento en milímetros.

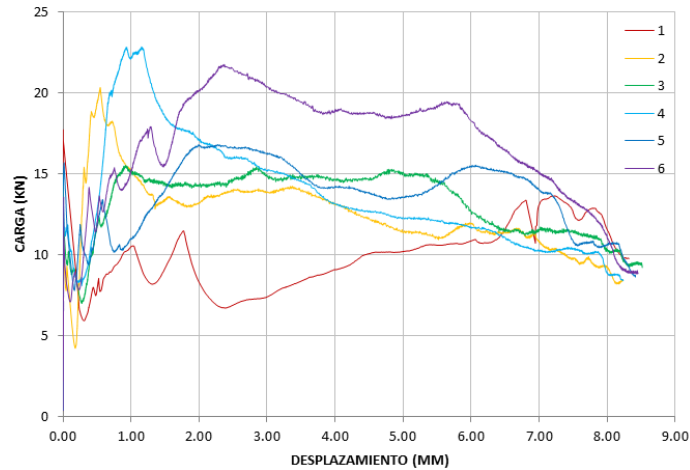
Una vez presentándose la carga máxima que soporta la probeta, el extensómetro continuó registrando deformación diametral en todos los casos.

En probetas fabricadas con concretos sin fibra las curvas tuvieron un comportamiento distinto de las curvas de las probetas fabricadas con concreto reforzado con fibra de acero. En las probetas de CRF, las curvas tuvieron un comportamiento más definido en cuanto similitud de curvas, a diferencia de las gráficas en probetas con concreto sin fibras.

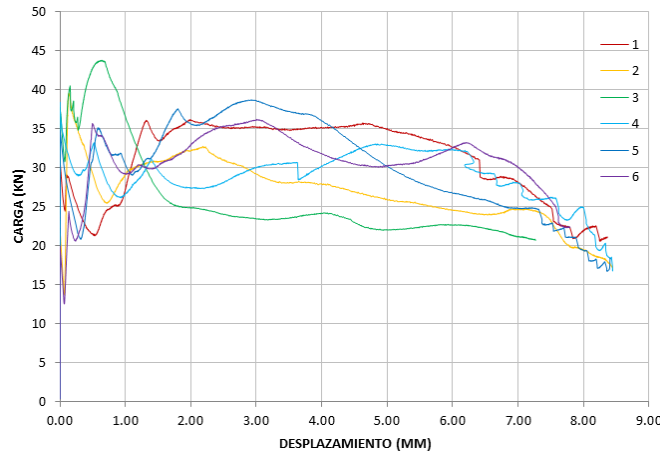
En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de la deformación diametral de las probetas, agrupadas por conjuntos de probetas con las mismas características. En dichas gráficas se puede observar lo explicado en párrafos anteriores.

La Gráfica 4.9 muestra el conjunto de probetas fabricadas con concreto sin fibra, con diámetros de ranura de 100 mm. La Gráfica 4.9 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

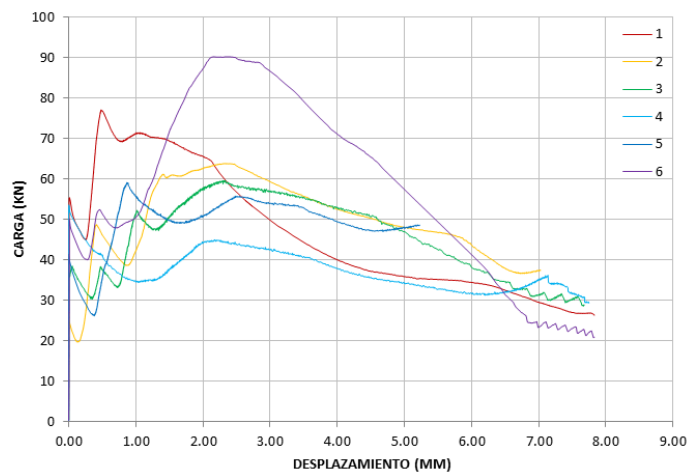
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



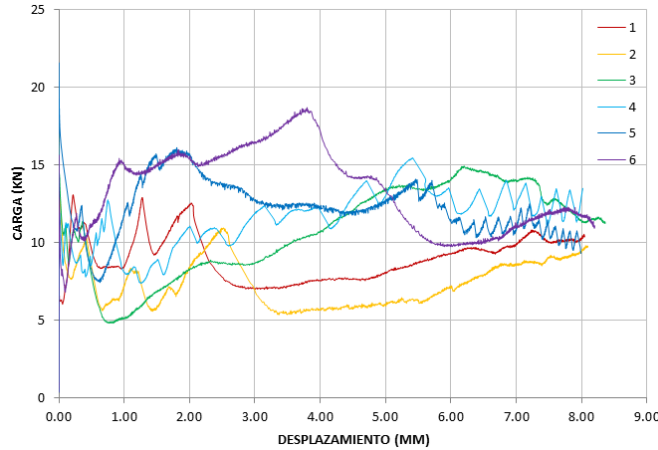
c) *Probetas 80 mm altura*



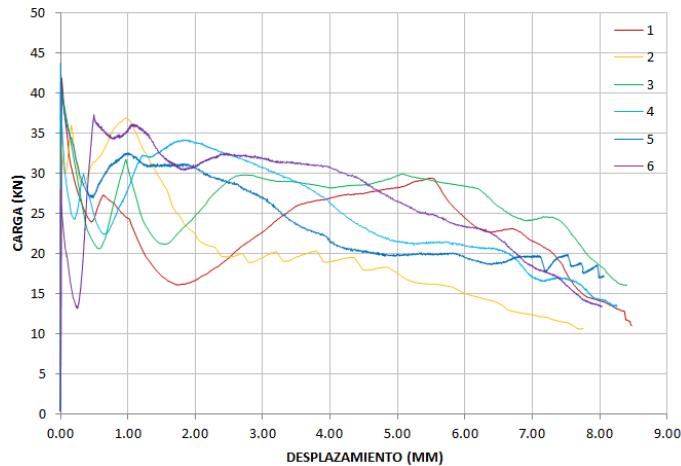
Gráfica 4.9 Curvas de deformación diametral en probetas de concreto sin fibra y con ranuras de corte de 100 mm.

La Gráfica 4.10 muestra el conjunto de probetas fabricadas con concreto sin fibra, con diámetros de ranura de 75 mm. La Gráfica 4.10 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

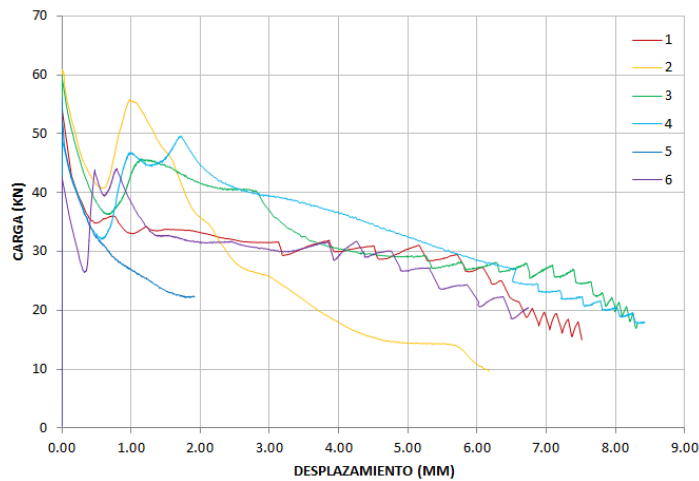
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



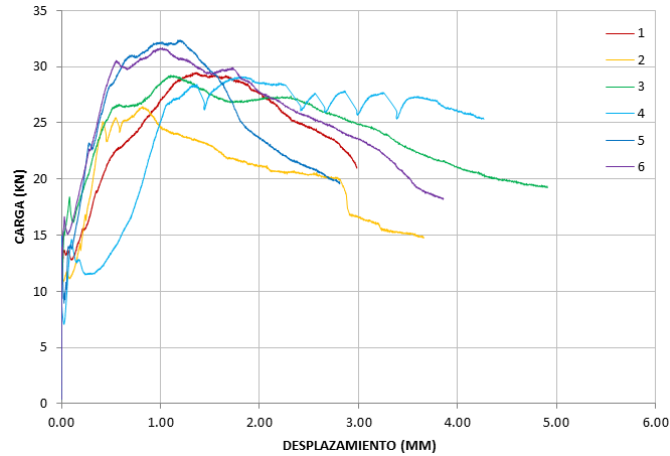
c) *Probetas 80 mm altura*



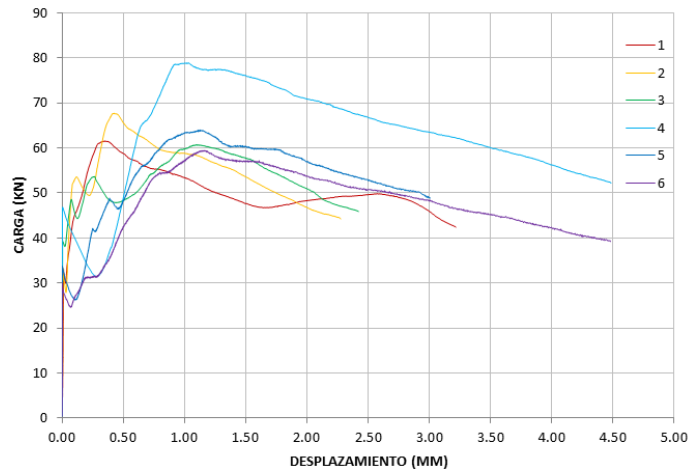
Gráfica 4.10 Curvas de deformación diametral en probetas de concreto sin fibra y con ranuras de corte de 75 mm de diámetro.

La Gráfica 4.11 muestra el conjunto de probetas fabricadas de concreto reforzado con fibra, con diámetros de ranura de 100 mm. La Gráfica 4.11 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura.

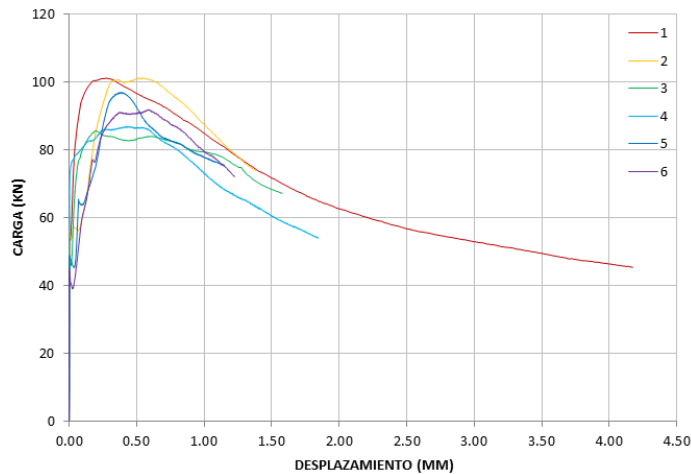
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



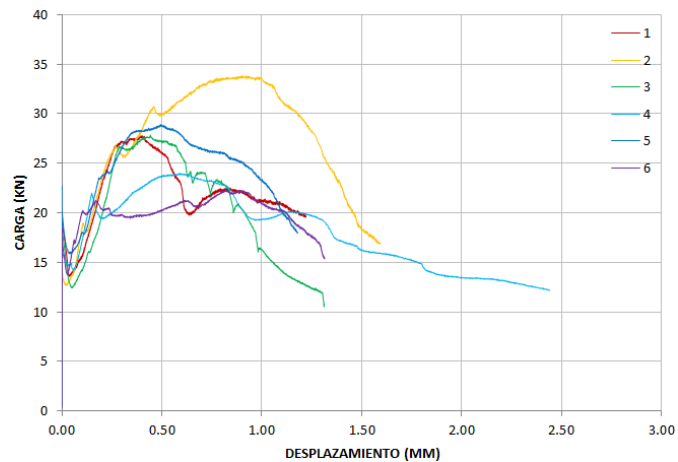
c) *Probetas 80 mm altura*



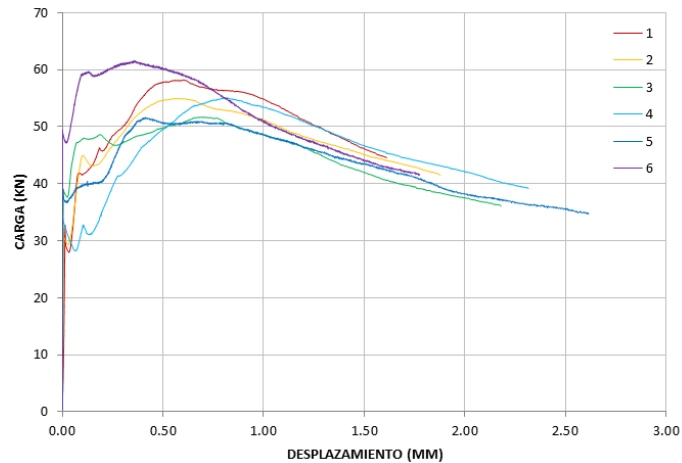
Gráfica 4.11 Curvas de deformación diametral en probetas de concreto reforzado con fibra y con ranuras de corte de 100 mm de diámetro.

La Gráfica 4.12 muestra el conjunto de probetas fabricadas de concreto reforzado con fibra, con diámetros de ranura de 75 mm. La Gráfica 4.12 a) muestra las gráficas de probetas de 40 mm de altura, b) probetas de 60 mm de altura y c) 80 mm de altura de probeta.

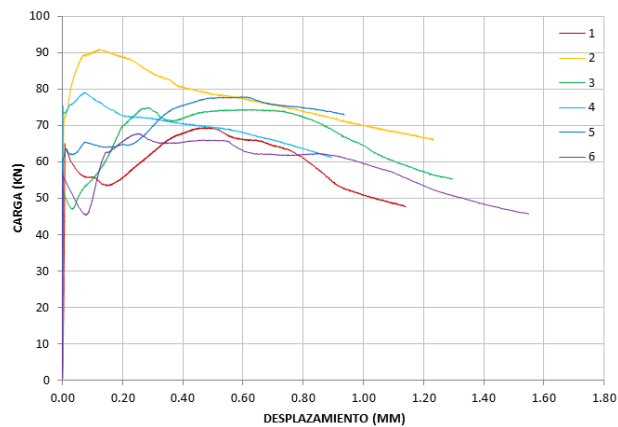
a) *Probetas 40 mm altura*



b) *Probetas 60 mm altura*



c) *Probetas 80 mm altura*



Gráfica 4.12 Curvas de deformación diametral en probetas de concreto reforzado con fibra y con ranuras de corte de 75 mm de diámetro.

4.2.5 Análisis de resultados

4.2.5.1 Carga vs desplazamiento

Analizando el comportamiento de las curvas carga vs desplazamiento, se puede decir que las curvas en la mayoría de cada uno de los conjuntos con probetas de las mismas características, se comportan de una manera similar.

El comportamiento de curvas en probetas fabricadas con concreto sin fibra es distinto a las probetas donde si se tiene la inclusión de estas.

En probetas sin fibras, el comportamiento se puede decir que no se encuentra muy definido, sin embargo las curvas son muy similares entre cada conjunto. El comportamiento de las curvas carga-desplazamiento se puede describir de la siguiente manera:

- Primeramente, las curvas presentan un tramo inicial de ajuste de sistema
- Enseguida se presenta un tramo lineal en la curva hasta alcanzar un primer pico de carga, que puede atribuirse a la presencia de las primeras fisuras dentro de la probeta
- Posteriormente se presenta un descenso de carga
- Enseguida se presentan una serie de picos de carga, posiblemente por la aparición de nuevas fisuras, lo que hacen que las curvas sean un poco indefinidas. En casos donde las probetas tienen una ranura de corte de 100 mm, estos picos son mayores al primer pico alcanzado, caso contrario a lo que ocurre con ranuras de corte de 75 mm, donde se presentan altibajos de carga que no sobrepasan el primer pico de carga alcanzado
- Finalmente se presenta el residual de la curva, perdiendo gradualmente carga

En probetas de CRF, el comportamiento de las curvas es más definido, con curvas muy similares entre cada conjunto. El comportamiento se puede describir de la siguiente manera:

- Se presenta un tramo inicial de ajuste de sistema
- Posteriormente existe un ascenso de forma lineal hasta alcanzar un primer pico de carga, que de igual manera puede atribuirse a alguna fisura en la probeta
- Enseguida se presenta un descenso sutil de carga, posteriormente existe una recuperación de carga hasta alcanzar un pico máximo de carga, lo cual puede atribuirse las fibras comienzan a trabajar dentro de la matriz del concreto
- Finalmente se presenta el residual de la curva, donde se observa una disminución gradual de carga

Con la obtención de gráficas y de datos máximos se procedió a la elaboración de tablas para observar los datos de manera general. La siguiente Tabla 4.2 muestra las cargas máximas promedio de seis ensayos que se obtuvieron de cada conjunto de probetas ensayadas con las mismas características.

Tabla 4.2 Cargas máxima promedio en probetas tipo Luong

Tipo De Concreto	Conjunto De Probetas	Carga Prom. (kn)	Desv. Estandar	Coefficiente Variación %
Sin Fibra	CL-100-40	19.2	2.9	15.2
	CL-100-60	38.8	2.8	7.2
	CL-100-80	67.2	13.8	20.5
	CL-75-40	16.8	3.0	17.9
	CL-75-60	40.2	2.7	6.7
	CL-75-80	54.4	6.4	11.7
Con Fibra	CLF-100-40	29.7	2.1	7.0
	CLF-100-60	65.4	7.2	11.1
	CLF-100-80	93.9	6.9	7.3
	CLF-75-40	27.5	4.0	14.7
	CLF-75-60	55.5	3.9	6.9
	CLF-75-80	76.8	8.3	10.8

En la tabla anterior los resultados se presentan de la siguiente forma, en correspondencia con el tipo de concreto, tamaño y numero de probeta, el promedio de carga máxima, la desviación estándar de las cargas máximas y el coeficiente de variación entre estas expresado en porcentaje.

Para hacer un análisis detallado de los valores arrojados por la Tabla 4.2, es necesario comparar cada uno de los grupos con las variables que se implementaron; diámetro de ranura, altura de espécimen y tipo de concreto con las que fueron fabricadas cada una de las probetas.

1. Diámetro de ranura

- Comparando la carga máxima promedio de cada uno de los conjuntos en base a su diámetro de ranura se tiene lo siguiente:

Con altura de 40 mm y concreto sin fibra, la carga que se registra con ranura de 100 mm es de 19.2 Kn y con ranura de 75 mm es de 16.8 Kn. Mayor carga con ranura de 100 mm, con un aumento del orden del 12.5 %.

Con altura de 60 mm y concreto sin fibra, la carga con ranura de 100 mm es de 38.8 Kn y con ranura de 75 mm es de 40.2 Kn. Mayor carga con ranura de 75 mm, con un aumento del orden del 3.5 %.

Con altura de 80 mm y concreto sin fibra, la carga con ranura de 100 mm es de 67.2 Kn y con ranura de 75 mm es de 54.4 Kn. Mayor carga con ranura de 100 mm, con un aumento del orden del 19 %.

Con altura de 40 mm y CRF, la carga con ranura de 100 mm es de 29.7 Kn y con ranura de 75 mm es de 27.5 Kn. Mayor carga con ranura de 100 mm, con un aumento del orden del 7.4 %.

Con altura de 60 mm y CRF, la carga con ranura de 100 mm es de 65.4 Kn y con ranura de 75 mm es de 55.5 Kn. Mayor carga con ranura de 100 mm, con un aumento del orden del 15.1 %.

Con altura de 80 mm y CRF, la carga con ranura de 100 mm es de 93.9 Kn y con ranura de 75 mm es de 76.8 Kn. Mayor carga con ranura de 100 mm, con un aumento del orden del 18.2 %.

- Respecto al coeficiente de variación, las probetas con ranura de 100 mm de diámetro, registraron un porcentaje promedio 14.3 % con concreto sin fibra y 8.5 % con CRF. Con ranuras de 75 mm presentaron un porcentaje promedio de 12.1 % con concreto sin fibra y 10.8 % con CRF.
- Las probetas con un diámetro de ranura de 100 mm, tuvieron una mayor capacidad de carga que las de diámetro de 75 mm, con un aumento de carga promedio del orden de 14.4 %. Esto ocurre en todas las alturas implementadas, excepto en el caso de las probetas de 60 mm de altura fabricadas con concreto sin fibra.

2. Altura de probeta

- Comparando la carga máxima promedio de los conjuntos respecto a la altura de probeta se tiene lo siguiente:

En probetas sin fibra con altura de 40 mm, los resultados fueron de 19.2 Kn y 16.8 Kn con ranuras de 100 y 75 mm respectivamente.

En probetas sin fibra con altura de 60 mm, los resultados fueron de 38.8 Kn y 40.2 Kn con ranuras de 100 y 75 mm respectivamente.

En probetas sin fibra con altura de 80 mm, los resultados fueron de 67.2 Kn y 54.4 Kn con ranuras de 100 y 75 mm respectivamente.

En probetas de CRF con altura de 40 mm, los resultados fueron de 29.7 Kn y 27.5 Kn con ranuras de 100 y 75 mm respectivamente.

En probetas de CRF con altura de 60 mm, los resultados fueron de 65.4 Kn y 55.5 Kn con ranuras de 100 y 75 mm respectivamente.

En probetas de CRF con altura de 80 mm, los resultados fueron de 93.9 Kn y 76.8 Kn con ranuras de 100 y 75 mm respectivamente.

- Respecto al coeficiente de variación las probetas con una altura de 60 mm fueron las que presentaron menor porcentaje. Se presenta un porcentaje promedio de 6.9 % en probetas con concreto sin fibra y de 9 % en CRF.
- Las probetas con mayor capacidad de carga fueron las de 80 mm de altura, con una carga promedio de 60.8 Kn con concreto sin fibra y 85.4 Kn con CRF.

3. Tipo de concreto

- Comparando la carga máxima promedio según el tipo de concreto con que fueron fabricadas las probetas de todos los conjuntos se tiene un promedio de 39.4 Kn en concreto sin fibra y 58.1 Kn en CRF.
- Respecto al porcentaje de variación entre los dos grupos de concreto utilizado se tiene un porcentaje promedio de 13.2 % en probetas de concreto sin fibra y un 9.6 % en probetas fabricadas con CRF.
- Por lo que de lo anterior se resume en que se presenta mayor carga y menor coeficiente de variación en probetas fabricadas con CRF.

4.2.5.2 Resistencia al corte vs desplazamiento

Analizando el comportamiento de las curvas resistencia al corte vs desplazamiento, se puede decir que las curvas son similares a las curvas de carga-desplazamiento, con la diferencia de que interviene el área de corte para la obtención de resistencia al corte. En la mayoría de cada uno de los conjuntos con probetas de las mismas características, se comportan de una manera similar.

El comportamiento de curvas en probetas fabricadas con concreto sin fibra es distinto a las probetas donde si se tiene la inclusión de estas.

En las probetas sin fibras, como en las curvas carga-desplazamiento, el comportamiento se puede decir que no se encuentra muy definido, sin embargo las curvas son muy similares entre cada conjunto. El comportamiento de las curvas resistencia al corte-desplazamiento se puede describir de la siguiente manera:

- Las curvas presentan un tramo inicial de ajuste de sistema
- Enseguida se presenta un tramo lineal en la curva hasta alcanzar un primer pico de resistencia, que puede atribuirse a alguna fisura dentro de la probeta
- Posteriormente se presenta un descenso de la resistencia
- Enseguida se presentan una serie de picos de resistencia, lo que hacen que las curvas sean un poco indefinidas. En casos donde las probetas tienen una ranura de corte de 100 mm, estos picos son mayores al primer pico alcanzado, caso contrario a lo que ocurre con ranuras de corte de 75 mm, donde se presentan altibajos de resistencia que no sobrepasan el primer pico de resistencia alcanzado
- Finalmente se presenta el residual de la curva, perdiendo gradualmente la resistencia

En las probetas de CRF, el comportamiento de las curvas es más definido, con curvas muy similares entre cada conjunto. El comportamiento se puede describir de la siguiente manera:

- Se presenta un tramo inicial de ajuste de sistema
- Posteriormente existe un ascenso de forma lineal hasta alcanzar un primer pico de resistencia, que de igual manera puede atribuirse a alguna fisura en la probeta
- Enseguida se presenta un descenso sutil de resistencia, posteriormente existe una recuperación de resistencia hasta alcanzar un pico máximo, lo cual puede atribuirse las fibras comienzan a trabajar dentro de la matriz del concreto
- Finalmente se presenta el residual de la curva, donde se observa una disminución gradual de la resistencia

De la misma manera, se presenta la tabla con las resistencias máximas promedio de seis ensayos, para observar con mayor facilidad los datos arrojados por las pruebas. En la Tabla 4.3 se muestran dichos datos.

Tabla 4.3 Resistencias al corte máximas promedio en probetas tipo Luong

Tipo De Concreto	Conjunto De Probetas	Res. Máx. Prom. (MPa)	Desv. Estandar	Coficiente Variación %	Resist. Compr. (MPa)	Relación Res. Corte/Res. Compresión
Sin Fibra	CL-100-40	3.2	0.45	14.3	39.52	8.0 %
	CL-100-60	3.2	0.19	5.9	39.83	8.1 %
	CL-100-80	3.7	0.82	22.1	39.52	9.3 %
	CL-75-40	3.6	0.59	16.3	40.41	9.0 %
	CL-75-60	4.5	0.37	8.1	40.41	11.2 %
	CL-75-80	4.2	0.48	11.4	39.83	10.7 %
Con Fibra	CLF-100-40	4.9	0.22	4.4	37.73	13.0 %
	CLF-100-60	5.4	0.45	8.4	39.19	13.7 %
	CLF-100-80	5.2	0.36	6.9	37.73	13.7 %
	CLF-75-40	6.3	0.97	15.4	38.44	16.4 %
	CLF-75-60	6.2	0.32	5.1	38.44	16.1 %
	CLF-75-80	5.8	0.59	10.0	39.19	14.9 %

En la tabla anterior los resultados se presentan de la siguiente forma, en correspondencia con el tipo de concreto, tamaño y número de probeta, el promedio de resistencia de corte máxima, la desviación estándar de las resistencias de corte máximas, el coeficiente de variación entre estas expresado en porcentaje, y la relación resistencia al corte entre resistencia a la compresión de cada una de las mezclas correspondientes expresado en porcentaje.

De igual manera como se hizo el análisis de resultados de carga, es necesario comparar los valores mostrados en la Tabla 4.3 de cada uno de los grupos de probetas con las variables que se implementaron; diámetro de ranura, altura de espécimen y tipo de concreto con las que fueron fabricadas cada una de las probetas.

1. Diámetro de ranura

- Comparando la resistencia de corte máxima promedio (RCMP) de cada uno de los conjuntos en base a su diámetro de ranura, considerando el promedio de las tres alturas empleadas, se tiene lo siguiente:

La RCMP en el grupo de probetas de concreto sin fibra y un diámetro de ranura de 100 mm, se tiene un valor de 3.4 MPa y un coeficiente de variación promedio de 14.1 %

En el conjunto de probetas de concreto sin fibra y diámetro de ranura de 75 mm, se tiene una RCMP por conjunto de 4.1 MPa y una variabilidad promedio del conjunto del orden del 11.9 %

En el conjunto de probetas de CRF y diámetro de ranura de 100 mm, se presenta una RCMP de 5.2 MPa y un porcentaje promedio de variación de 6.6%

En probetas de CRF y un diámetro de ranura de 75 mm, se tiene una RCMP de 6.1 MPa y un porcentaje promedio de variación de 10.1 %

- Las probetas con mayor resistencia al corte en base a su diámetro de ranura fueron las de 75 mm en todos los casos
- De lo anterior se puede decir, que a menor diámetro de ranura, o lo que es igual, a mayor ancho de corona, se presenta mayor resistencia al corte

2. Altura de probeta

- Comparando la resistencia al corte máxima promedio (RCMP) de los conjuntos respecto a la altura de probeta, considerando el promedio de ambos diámetros de ranura, se tiene lo siguiente:

Para probetas de 40 mm de altura de concreto sin fibra, se tiene una RCMP de 3.4 MPa y un porcentaje de variabilidad promedio de 15.3 %

En probetas de 60 mm de altura de concreto sin fibra, se tiene una RCMP de 3.85 MPa y un porcentaje de variabilidad promedio de 7 %

En probetas de 80 mm de altura de concreto sin fibra, se tiene una RCMP de 3.95 MPa y un porcentaje de variabilidad promedio de 16.8 %

Para las probetas de 40 mm de altura de CRF, se tiene una RCMP de 5.6 MPa y un porcentaje de variabilidad promedio de 9.9 %

Para las probetas de 60 mm de altura de CRF, se tiene una RCMP de 5.8 MPa y un porcentaje de variabilidad promedio de 6.75 %

Para las probetas de 80 mm de altura de CRF, se tiene una RCMP de 5.5 MPa y un porcentaje de variabilidad promedio de 8.45 %

- De los datos mostrados en la Tabla 4.3 se observa que las probetas con una altura 60 mm presentan mayor resistencia al corte según por conjunto, además de que presentan un porcentaje menor de variabilidad como se muestra en el punto anterior

3. Tipo de concreto

- Comparando la resistencia de corte máxima promedio según el tipo de concreto con que fueron fabricadas las probetas de todos los conjuntos se tiene un promedio de 3.7 MPa en concreto sin fibra y 5.6 MPa en CRF.
- Respecto al porcentaje de variación entre los dos grupos de concreto utilizado se tiene un porcentaje promedio de 13.0 % en probetas de concreto sin fibra y un 8.4 % en probetas fabricadas con CRF.
- Por lo que de lo anterior se resume en se presenta mayor resistencia al corte y menor coeficiente de variación en probetas fabricadas con CRF.

Del análisis realizado se puede concluir en lo siguiente:

La adición de fibras, contribuye notablemente a obtener resistencias de corte mayores. Esto se debe de que al momento de que ocurre la falla en el espécimen, la fibra empieza a trabajar por lo cual las resistencias aumentan hasta llegar a un máximo.

Se puede proponer como geometría de ensayo estándar para la obtención de resistencia al corte, las probetas con una altura de 60 mm y diámetro de ranura de 75 mm, debido a que presentan un coeficiente de variación menor y una resistencia al corte mayor. Estos resultados se observan en ambos tipos de concreto.

4.3 ENSAYOS DE CORTE TIPO BLOQUE “Z”

4.3.1 Modo de falla

El modo de falla, estuvo definido en la mayoría de los casos por la falla en el área de corte y fracturas de menor grado de por esfuerzos de flexión en el extremo de las ranuras.

Primero se presentan las fracturas de flexión en los extremos de las ranuras del bloque, como se puede ver en la Figura 4.13.

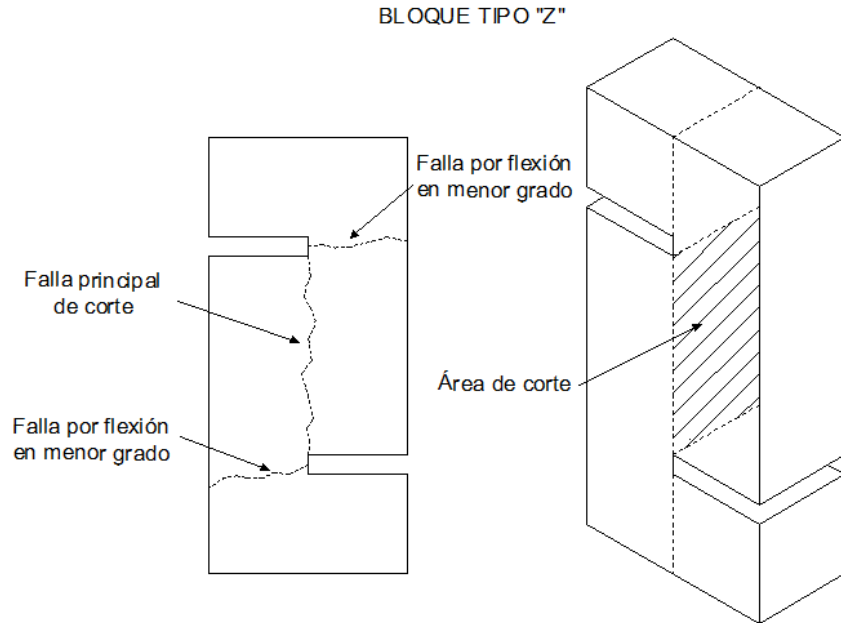


Figura 4.13 Modo de falla y área de corte de ensayos tipo bloque "Z"

Las mediciones que se utilizan para calcular el área de corte, se encuentran en el Anexo A-4 (control de registro de mediciones), o también se pueden observar en las fichas técnicas adjuntas en el Anexo A-6.

La resistencia al corte se obtuvo mediante la fórmula del esfuerzo; $\sigma = \frac{P}{A_c}$ donde:

σ , es el esfuerzo o resistencia al corte en MPa

P, es la carga máxima resistente en KN

A_c , es el área de corte en cm^2

En la Figura 4.14 se muestra una fotografía del modo de falla típico de los bloques fabricados con concreto sin fibra. Donde se observa el desprendimiento del bloque en dos partes en donde ocurre la falla de corte. Este efecto no ocurre en los bloques con fibra, debido que las fibras impiden dicho desprendimiento.



Figura 4.14 Modo de falla típico en bloques sin fibra

4.3.2 Resultados

En la Tabla 4.4 se muestra las resistencias al corte máximas promedio que se obtuvieron de cada uno de los ensayos.

Tabla 4.4 Resultados promedio de ensayos de corte tipo bloque "Z" por mezcla

Tipo De Concreto	Mezcla	Carga Máxima (KN)	Área de Corte (cm ²)	Resistencia al corte máxima (MPa)
Sin Fibra	M1	81.87	206.03	3.98
	M2	82.38	207.05	3.98
	M3	76.03	207.39	3.66
Con Fibra	M4	98.54	209.41	4.71
	M5	87.92	208.06	4.24
	M6	97.49	205.53	4.74

Para hacer una comparación con los tipos de concretos fabricados, se realiza la Tabla 4.5 dónde se muestra las resistencias al corte máximas con su respectivo coeficiente de variación.

Tabla 4.5 Resistencias al corte máximas promedio según tipo de concreto

Conjunto de especímenes	Resistencia al corte máxima promedio (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Concreto Simple		
CB	3.9	4.6
Concreto Reforzado (CRF)		
CBF	4.6	6.2

4.3.3 Análisis de resultados

Las resistencias al corte obtenidas en los ensayos de corte tipo bloque "Z", se puede considerar que se encuentran dentro del rango de las resistencias obtenidas de los ensayos tipo Luong mostrados en el apartado anterior. De igual manera la inclusión de fibras contribuye a obtener resistencias de corte mayores.

Se tiene un promedio de 3.87 MPa de resistencia al corte en bloques de concreto sin fibra y un 3.7 MPa en probetas tipo Luong en concreto sin fibra, por lo que se tiene una diferencia menor del 5% en ensayos Luong. Por otro lado en bloques con CRF se tiene una resistencia al corte promedio de 4.56 MPa, mientras que en probetas tipo Luong se tiene 5.6 MPa, por lo que existe una diferencia del orden del 19 % en los bloques tipo "Z".

Los coeficientes de variación obtenidos se muestran en las Tablas 4.4 y 4.5 valores como 4.6 % en los bloques de concreto sin fibra y 6.2 % en concretos con fibra.

Se puede decir que los resultados son válidos para hacer la comparativa con los arrojados por los ensayos tipo Luong.

CAPÍTULO 5

5. COMPARATIVO DE RESISTENCIA AL CORTE EN CRF

5.1 INTRODUCCIÓN

Una vez analizados los resultados, se realizó una serie de ensayos complementarios a la presente investigación con la finalidad de enriquecer y ampliar el contenido de la misma.

La implementación y configuración de ensayos, fueron de la misma manera que los mostrados en capítulos anteriores, a diferencia de que se decidió incorporar fibras sintéticas en las mezclas de concreto, además de incorporar distintas cantidades de fibra en las mezclas.

En la primera parte de ensayos, en las mezclas de CRF, los concretos se realizaron con una cantidad de 40 kg/m^3 de fibras de acero Dramix RC 65 35 BN (ver apartado 3.5.1.5 del presente trabajo), en la segunda parte de ensayos se aumentó la cantidad de fibras de acero a 60 kg/m^3 , además se fabricaron mezclas con macro fibras sintéticas de dos tipos: TUF-STRAND SF y MAC MATRIX (ver Anexo A-1 de fichas técnica de fibras).

La dosificación de fibras sintéticas de los dos tipos se hizo de la siguiente manera: con 5 kg/m^3 lo cual es equivalente la mezcla de fibras de acero con 40 kg/m^3 , y de 7 kg/m^3 equivalente a 60 kg/m^3 de fibras de acero. En la Tabla 5.1 se puede observar de manera clara las equivalencias entre fibras de acero y sintéticas.

Tabla 5.1 Correspondencia entre cantidades de fibra

Tipo de Fibra	Denominación	Cantidad kg/m^3	
Acero	Dramix RC 65 35 BN	40	60
Macro fibra sintética	TUF-STRAND SF	5	7
Macro fibra sintética	MAC MATRIX	5	7

Por lo tanto las mezclas que se realizaron en la segunda parte de pruebas fueron cinco con las siguientes variables y características:

- Concreto reforzado con fibras de acero Dramix RC 65 35 BN, con una cantidad de 60 kg/m^3
- Concreto reforzado con macro fibras sintéticas TUF-STRAND SF, con una cantidad de 5 kg/m^3
- Concreto reforzado con macro fibras sintéticas TUF-STRAND SF, con una cantidad de 7 kg/m^3

- Concreto reforzado con macro fibras sintéticas MAC MATRIX, con una cantidad de 5 kg/m³
- Concreto reforzado con macro fibras sintéticas MAC MATRIX, con una cantidad de 7 kg/m³

La finalidad con la que se hizo esta segunda parte de ensayos, es para hacer un comparativo del comportamiento y la resistencia al corte entre los tipos de fibra antes mencionados.

El procedimiento de fabricación de concretos fue el mismo, cumpliendo con las normas correspondientes.

En lo que respecta a los ensayos, de igual manera se hicieron los tres ensayos antes descritos en la primera parte de pruebas:

- Ensayos de resistencia a compresión
- Ensayos de resistencia al corte tipo Luong
- Ensayos de resistencia al corte tipo bloque "Z"

Con el análisis de resultados previo y la recomendación propuesta de la geometría de ensayos tipo Luong, para la segunda parte de ensayos se eligió la geometría de probeta con una altura de 60 mm y una ranura de probeta de 75 mm, por las razones antes mencionadas en el capítulo de análisis de resultados de la presente investigación. Para los cinco casos de concreto con fibras en ensayos tipo Luong se implementó dicha geometría.

En cada serie colados se fabricaron: tres bloques de concreto tipo "Z" de 100 × 200 × 440 mm, para los ensayos de corte de bloques tipo "Z"; tres cilindros de concreto de 150 × 300 mm para los ensayos de compresión y seis cilindros de 150 × 150 mm para ensayos tipo Luong. En la Tabla 5.2 se muestra el número de probetas fabricadas por cada colado.

Tabla 5.2 Número de probetas según tipo de ensayo

Tipo Probeta	Dimensión, mm	Tipo de Ensayo	No. Probetas
Bloque tipo "Z"	100 × 200 × 440	Cortante Bloque	3
Cilindro	150 × 300	Compresión	3
Cilindro	150 × 150	Cortante Luong	6

El procedimiento preparación de probetas, fue el mismo realizado en la primera parte de especímenes, para el caso de cilindros de compresión se realizó una corrección aplicando un cabeceo con azufre, en probetas tipo Luong se hicieron los cortes con cortadora de disco y las ranuras mediante una extractora de corazones y los bloques tipo "Z" no necesitaron ningún tipo de preparación.

El almacenamiento, curado, control de mediciones en especímenes (ver Anexo A-4 registro de mediciones) se realizó de la misma manera, siguiendo las normas establecidas. La configuración de ensayo también fue realizado de la misma manera como ya se ha explicado anteriormente.

5.2 DISEÑO DE MEZCLAS Y GENERALIDADES

El diseño de mezcla para esta segunda parte de ensayos es exactamente el mismo, con el uso de los mismos materiales y mismas propiedades de agregados ya mostradas, a diferencia de que las mezclas tienen las variables de incorporación de fibras antes mencionadas.

5.2.1 Dosificación

Siguiendo las recomendaciones del ACI 211.1 (American Concrete Institute), los parámetros de diseño fueron la resistencia a compresión, relación agua/cemento, revenimiento y tamaño de agregado grueso. En este caso la resistencia deseada fue de 400 kg/cm², una relación agua/cemento de 0.5 y un tamaño máximo de agregado de 9.5 mm (3/8”).

La Tabla 5.3 muestra la dosificación de mezclas.

Tabla 5.3 Dosificación de mezclas

Dosificación de mezclas								
Serie	Tipo de fibra	Cemento kg/m ³	Arena kg/m ³	Grava kg/m ³	Agua kg/m ³	Aditivo ml/m ³	Fibra kg/m ³	Relación a/c
M7	Dramix RC 65 35 BN	428	662	855	214	2 000	60	0.50
M8	TUF-STRAND SF	428	662	855	214	2 000	7	0.50
M9	MAC MATRIX	428	662	855	214	2 000	7	0.50
M10	TUF-STRAND SF	428	662	855	214	2 000	5	0.50
M11	MAC MATRIX	428	662	855	214	2 000	5	0.50

5.2.2 Pruebas en estado fresco

Los resultados de las mezclas en estado fresco como peso unitario, revenimiento y contenido de aire, se ve reflejado en la tabla 5.4.

Tabla 3.7 Resultados de pruebas en estado fresco

ID	M7	M8	M9	M10	M11
P.U. kg/m ³	2306	2261	2246	2259	2227
Revenimiento (cm)	3.4	4.3	4.4	4.3	6.2
Contenido de Aire (%)	2.6	2.4	3.0	2.9	3.2
Contenido de fibra kg/m ³	60	7	7	5	5

5.2.3 Nomenclatura de especímenes

Cilindros a compresión

Se fabricaron tres cilindros por cada tipo de mezcla. La nomenclatura designada para especímenes de compresión se puede observar en la tabla 5.5, donde las iniciales y números propuestos se definen de forma consecutiva.

Tabla 5.5 Nomenclatura cilindros de compresión

Nomenclatura	Tipo de Ensayo	Tipo de Fibra	Cantidad de fibra/m ³	Número de espécimen
C FAD 60-1	Compresión (C)	Fibra Acero Dramix (FAD)	60	1
C FST 7-1	Compresión (C)	Fibra Sintetica Tuf-strand (FST)	7	1
C FSM 7-1	Compresión (C)	Fibra Sintetica Mac-Matrix (FSM)	7	1
C FST 5-1	Compresión (C)	Fibra Sintetica Tuf-strand (FST)	5	1
C FSM 5-1	Compresión (C)	Fibra Sintetica Mac-Matrix (FSM)	5	1

Probetas tipo Luong

Las probetas fabricadas por cada tipo de mezcla fueron seis. La nomenclatura designada para este tipo de probetas se muestra en la tabla 5.6, donde las iniciales y números propuestos se definen de forma consecutiva.

Tabla 5.6 Nomenclatura probetas tipo Luong

Nomenclatura	Tipo de Ensayo	Tipo de Fibra	Cantidad de fibra/m ³	Número de espécimen
CL FAD 60-1	Cortante Luong (CL)	Fibra Acero Dramix (FAD)	60	1
CL FST 7-1	Cortante Luong (CL)	Fibra Sintetica Tuf-strand (FST)	7	1
CL FSM 7-1	Cortante Luong (CL)	Fibra Sintetica Mac-Matrix (FSM)	7	1
CL FST 5-1	Cortante Luong (CL)	Fibra Sintetica Tuf-strand (FST)	5	1
CL FSM 5-1	Cortante Luong (CL)	Fibra Sintetica Mac-Matrix (FSM)	5	1

Bloques tipo "Z"

Se fabricaron tres bloques por cada tipo mezcla. La nomenclatura designada para este tipo de probetas se muestra en la tabla 5.7, donde las iniciales y números propuestos se definen de forma consecutiva.

Tabla 5.7 Nomenclatura bloques tipo "Z"

Nomenclatura	Tipo de Ensayo	Tipo de Fibra	Cantidad de fibra/m ³	Número de espécimen
CB FAD 60-1	Cortante Bloque (CB)	Fibra Acero Dramix (FAD)	60	1
CB FST 7-1	Cortante Bloque (CB)	Fibra Sintetica Tuf-strand (FST)	7	1
CB FSM 7-1	Cortante Bloque (CB)	Fibra Sintetica Mac-Matrix (FSM)	7	1
CB FST 5-1	Cortante Bloque (CB)	Fibra Sintetica Tuf-strand (FST)	5	1
CB FSM 5-1	Cortante Bloque (CB)	Fibra Sintetica Mac-Matrix (FSM)	5	1

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.3.1 Ensayos a compresión

La resistencia a compresión se obtuvo de la misma manera que los ensayos anteriores. Los resultados promedio de los tres cilindros ensayados por cada una de las mezclas fabricadas, se muestran en la Tabla 5.8 y Figura 5.1

Tabla 5.8 Resultados promedio a compresión

Mezcla	Carga Máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)	Coefficiente de variación (%)
M7	70100	387	38.0	4.66
M8	74933	415	40.7	0.75
M9	74867	413	40.5	3.15
M10	72867	403	39.5	1.93
M11	72400	401	39.3	1.05

En el anexo A-5 del presente trabajo, se adjuntan las tablas de cada uno de los cilindros ensayados a compresión.

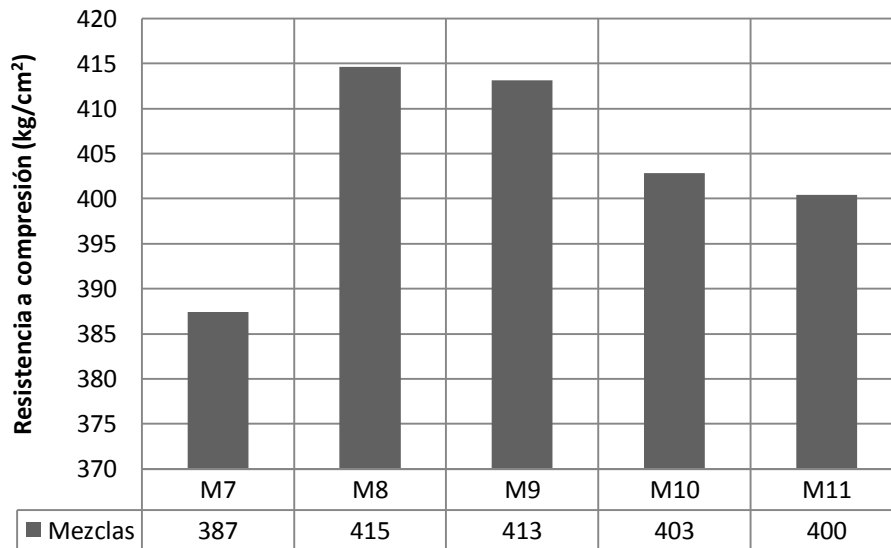


Figura 5.1 Resistencias promedio

En base a los resultados obtenidos, se puede decir que las resistencias a compresión resultantes de los mismos ensayos, son adecuadas para el diseño de mezcla que se planteó desde un inicio, con resistencias de 400 kg/cm².

La Tabla 5.8 muestra el coeficiente de variación de los resultados. En todos los casos, la variabilidad es bastante aceptable, con valores menores a 5%.

5.3.2 Ensayos Luong

5.3.2.1 Modo de falla

De igual manera si hizo un análisis por conjuntos de los tipos de probetas ensayadas debido a sus variables, en este caso al tipo y cantidad de fibra en el concreto con las que fueron fabricadas.

Probetas de CRF, fibras de acero tipo Dramix 60 kg/m³

- En la cara superior se presentan por lo general entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias de menor grado.
- En la cara inferior no existe presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 5.2 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.

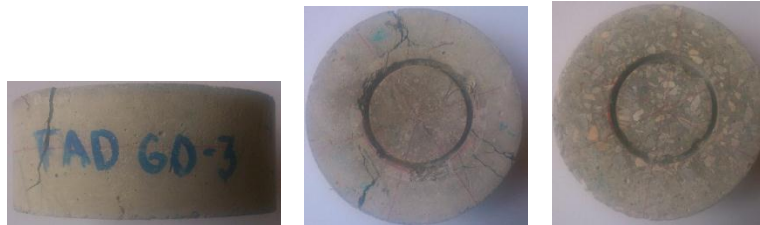


Figura 5.2 Modo de falla en probetas de CRF, fibras de acero 60 kg/m³

Probetas de CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 7 kg/m³

- En la cara superior se presentan por lo general entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 83 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias de menor grado.
- En la cara inferior no existe presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 5.3 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 5.3 Modo de falla en probetas de CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 7 kg/m³

Probetas de CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 7 kg/m³

- En la cara superior se presentan por lo general entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias de menor grado.
- En la cara inferior no existe presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 5.4 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 5.4 Modo de falla en probetas de CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 7 kg/m³

Probetas de CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 5 kg/m³

- En la cara superior se presentan por lo general entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias de menor grado.
- En la cara inferior no existe presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 5.5 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.



Figura 5.5 Modo de falla en probetas de CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 5 kg/m³

Probetas de CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 5 kg/m³

- En la cara superior se presentan por lo general entre tres y cuatro grietas en forma radial en el ancho de la corona en un 100 % de las probetas ensayadas sin atravesar el núcleo central, con presencia de grietas secundarias de menor grado.
- En la cara inferior no existe presencia de grietas principales y secundarias en un 100 % de las probetas.
- No existe desprendimiento del núcleo central en un 100 % del total de las probetas.
- En la mayoría de los casos, las grietas principales atraviesan la altura de la probeta en un 75 %.

En la Figura 5.6 se muestra el modo de falla principal en este conjunto de probetas.

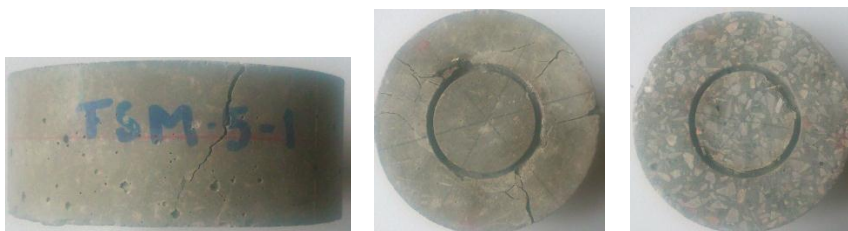


Figura 5.6 Modo de falla en probetas de CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 5 kg/m³

De los apartados anteriores, se puede concluir los siguientes puntos sobre el modo de falla de cada uno conjuntos de probetas ensayadas.

- En la mayoría de las probetas con menor altura existe el mismo número de fisuras con la misma forma. Por lo que se puede decir un patrón de modo de falla de tres o cuatro grietas principales de forma radial en el ancho de corona sin atravesar el núcleo central con presencia de grietas secundarias en la cara superior, y sin presencia en todos los casos de fisuras en la cara inferior.
- Las grietas en forma radial que ocurren en el ancho de corona, siempre se presentan en la cara superior, en donde es colocado el anillo de carga de mayor diámetro, sin atravesar el núcleo central de la probeta.
- La mayoría de grietas principales, atraviesan la altura de probeta en un 75 % de su dimensión.

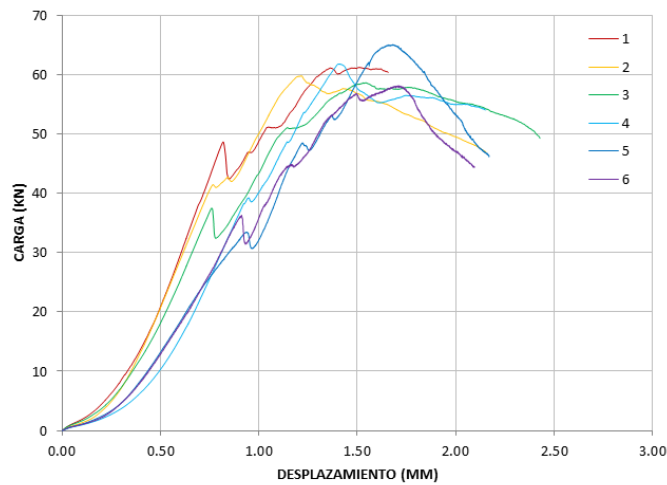
En el anexo A-6 del presente trabajo se presenta las fichas técnicas de los ensayos, donde se muestra el modo de falla de cada espécimen ensayado.

5.3.2.2 Comportamiento de curvas de carga vs desplazamiento

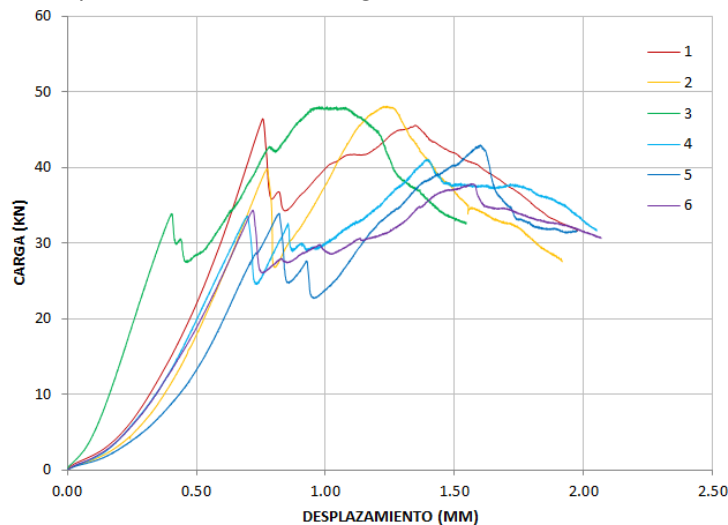
De igual manera se capturaron los datos arrojados por el software del sistema MTS para la obtención de gráficas de carga vs desplazamiento, registrando el valor de la carga en KN y el desplazamiento controlado en mm registrado por los transductores de desplazamiento. La adquisición de datos se obtuvo en intervalos de tiempo de 0.2 segundos. Para poder observar el comportamiento de las curvas con mayor facilidad y poder tener una comparativa entre las seis probetas de un mismo grupo de CRF, las curvas se plasmaron en una sola gráfica de cada conjunto.

La Gráfica 5.1 a) muestra las gráficas de carga-desplazamiento de probetas de CRF fibras de acero tipo Dramix 60 kg/m³, b) probetas de CRF fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 7 kg/m³, c) probetas de CRF fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 7 kg/m³, d) probetas de CRF fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 5 kg/m³ y e) probetas de CRF fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 5 kg/m³.

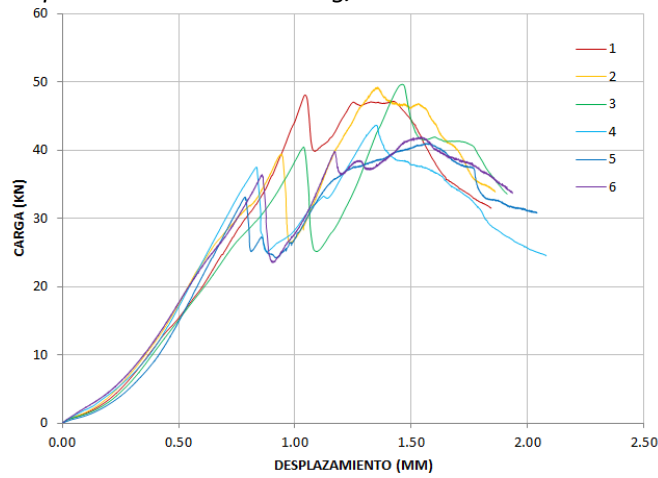
a) CRF, fibras de acero tipo Dramix RC 65 35 BN con 60 kg/m³



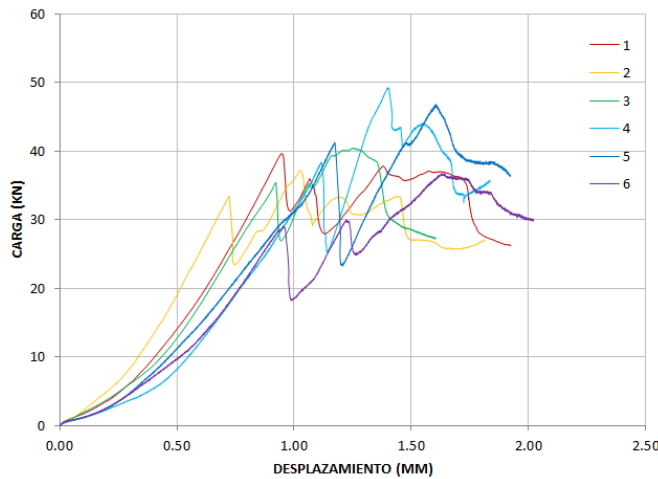
b) CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND con 7 kg/m³



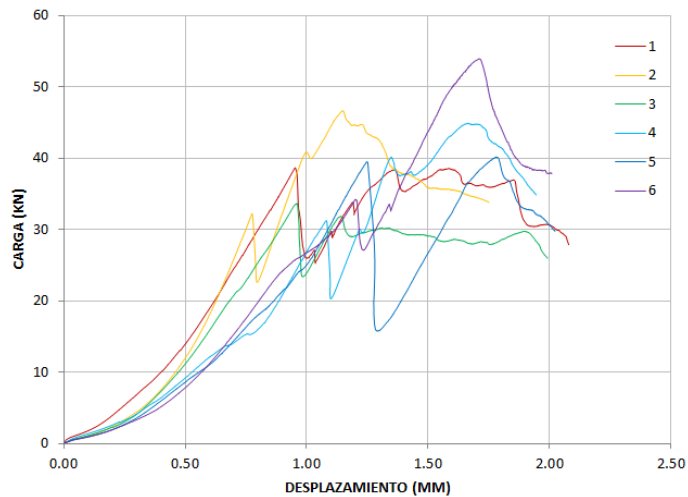
c) CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 7 kg/m^3



d) CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND con 5 kg/m^3



e) CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 5 kg/m^3



Gráfica 5.1 Curvas carga vs desplazamiento en CRF

Analizando el comportamiento de las curvas carga vs desplazamiento, se puede decir que las curvas en la mayoría de cada uno de los conjuntos con probetas de las mismas características, se comportan de una manera similar.

El comportamiento de curvas en probetas fabricadas con concreto con fibras de acero es ligeramente distinto a las probetas con fibras sintéticas. Las curvas son más definidas en probetas con fibras de acero.

Por otro lado, haciendo una comparativa entre fibras sintéticas, se observa que el comportamiento es similar entre los dos tipos de fibras sintéticas empleadas. En mezclas donde hay una menor cantidad de fibra se observa mayor variabilidad entre curvas.

Describiendo el comportamiento en probetas con fibras de acero, se puede realizar de la siguiente manera:

- Se presenta un tramo inicial de ajuste de sistema
- Posteriormente existe un ascenso de forma lineal hasta alcanzar un primer pico de carga, que puede atribuirse a alguna fisura en la probeta
- Enseguida se presenta un descenso sutil de carga, posteriormente existe una recuperación de la misma hasta alcanzar un pico máximo, lo cual puede atribuirse a que las fibras comienzan a trabajar dentro de la matriz del concreto
- Finalmente se presenta el residual de la curva, donde se observa una disminución gradual de la carga

Como el comportamiento de las curvas entre los dos tipos de fibras sintéticas es muy similar, se puede hacer una misma descripción para ambos tipos de probetas con fibra sintética de la siguiente manera:

- Primeramente, las curvas presentan un tramo inicial de ajuste de sistema
- Enseguida se presenta un tramo lineal en la curva hasta alcanzar un primer pico de carga, que puede atribuirse a alguna fisura dentro de la probeta
- Posteriormente se presenta un descenso de carga
- Enseguida se presentan una serie de picos, lo que hacen que las curvas sean un poco indefinidas. En esta serie de picos, la carga sobrepasa a la alcanzada en el primer pico, por lo que se presenta la carga máxima
- Finalmente se presenta el residual de la curva, perdiendo gradualmente carga

La siguiente Tabla 5.9 muestra las cargas máximas promedio de seis ensayos que se obtuvieron de cada conjunto de probetas ensayadas con las mismas características.

Tabla 5.9 Cargas máxima promedio en probetas tipo Luong CRF

Tipo de Fibra	Cantidad de Fibra kg/m³	Carga Prom. (Kn)	Desv. Estandar	Coefficiente Variación %
Dramix RC 65 35 BN	*40	55.5	3.9	6.9
	60	60.8	2.5	4.2
TUF-STRAND SF	5	41.7	5.2	12.4
	7	44.1	4.2	9.4
MAC MATRIX	5	43.0	7.1	16.5
	7	45.6	3.8	8.4

*Dato obtenido de la Tabla 4.2 del presente trabajo, con probetas de CRF de acero tipo con un diámetro de ranura de 75 mm y una altura de 60 mm.

En la tabla anterior los resultados se presentan de la siguiente forma, en correspondencia con tipo de fibra, cantidad de fibra empleada en la mezcla, número de ensayos realizados, el promedio de carga máxima, la desviación estándar de las cargas máximas y el coeficiente de variación entre estas expresado en porcentaje.

Realizando el análisis de los valores arrojados por la Tabla 5.9, se puede concluir lo siguiente:

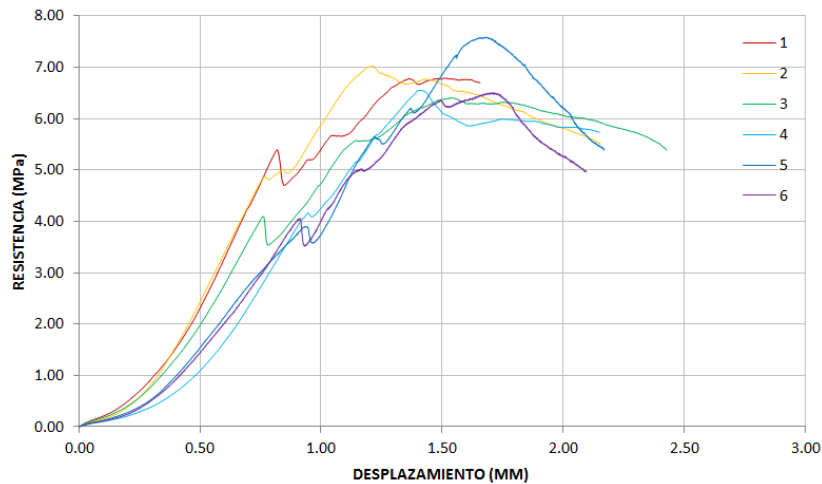
- Comparando la carga máxima promedio en concretos con fibra de acero con 60 kg/m³ y 40 kg/m³, se tiene una carga de 60.8 Kn y 55.5 Kn respectivamente. Se observa un mejoramiento de la carga del orden del 9 % al aumentar la cantidad de fibra.
- En fibras sintéticas tipo TUF-STRAND SF con 7 kg/m³ y 5 kg/m³ se tiene una carga máxima de 44.1 y 41.7 Kn respectivamente. Se observa un mejoramiento de carga con el aumento de fibra del orden del 5.5 %.
- En fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 7 kg/m³ y 5 kg/m³ se tiene una carga máxima de 45.6 y 43.0 Kn respectivamente. Hay un mejoramiento de la carga con el aumento de fibra del orden del 5.7 %.
- Respecto al porcentaje de variación, en fibras de acero tipo Dramix, se tiene un coeficiente de variabilidad (CV) en un rango del 4 al 7%, en fibras sintéticas tipo TUF-STRAND SF se tiene un rango de CV del 9 al 13 % y en fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX se tiene un rango del CV del 8 al 17 %.
- Por lo que de lo anterior se resume en que las probetas que presentaron mayor capacidad de carga y menor coeficiente de variación fueron las fabricadas con fibras de acero tipo Dramix RC 65 35 BN.

5.3.2.3 Comportamiento de curvas de resistencia al corte vs desplazamiento

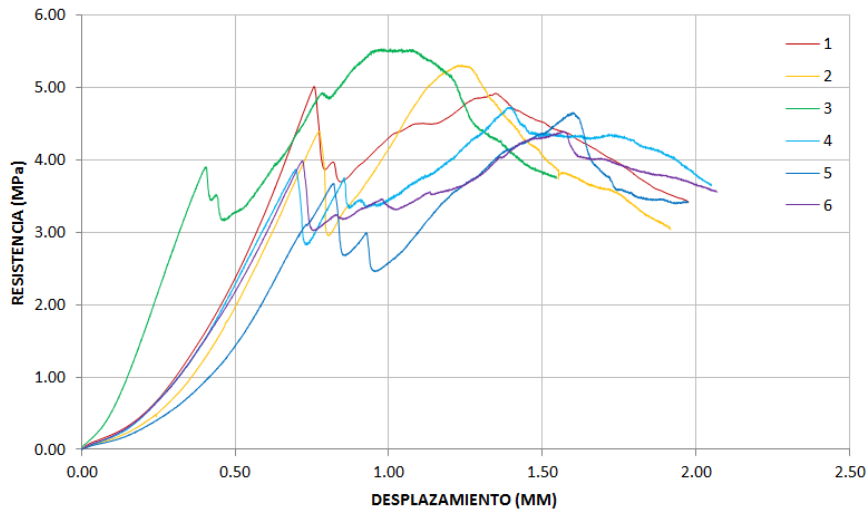
La obtención de la resistencia al corte se obtuvo de la misma manera que los ensayos anteriores. Los resultados se pueden plasmar en las siguientes gráficas para cada conjunto de seis especímenes ensayados por cada tipo de mezcla. En las fichas técnicas de cada uno de los ensayos, se muestra la gráfica individual.

La Gráfica 5.2 a) muestra las gráficas de resistencia al corte-desplazamiento de probetas de CRF fibras de acero tipo Dramix 60 kg/m³, b) probetas de CRF fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 7 kg/m³, c) probetas de CRF fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 7 kg/m³, d) probetas de CRF fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 5 kg/m³ y e) probetas de CRF fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 5 kg/m³.

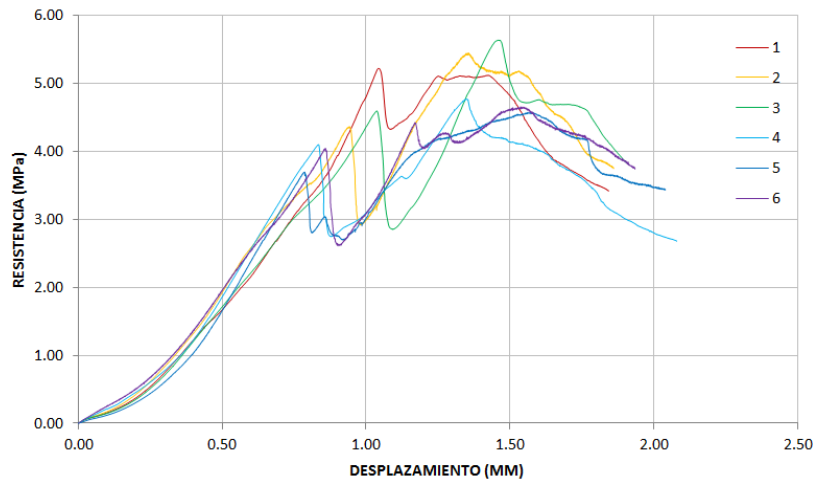
a) CRF, fibras de acero tipo Dramix RC 65 35 BN con 60 kg/m³



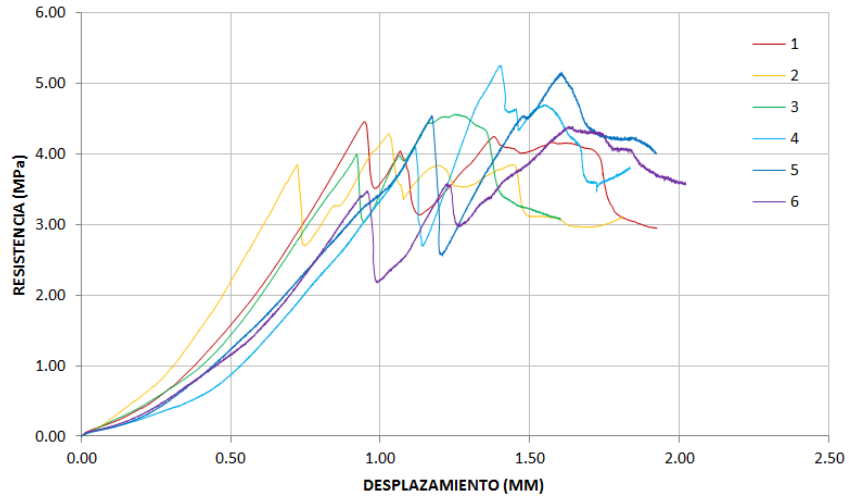
b) CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND con 7 kg/m³



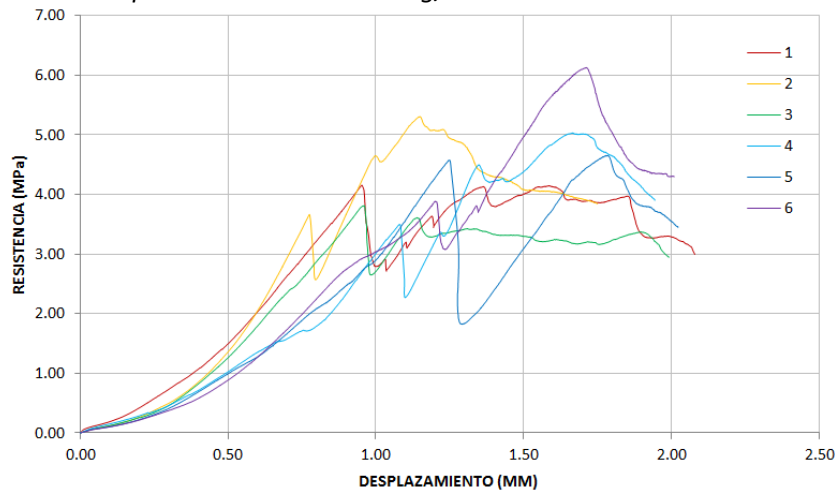
c) CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 7 kg/m³



d) CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND con 5 kg/m³



e) CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 5 kg/m³



Gráfica 5.2 Curvas resistencia al corte vs desplazamiento en CRF

Analizando el comportamiento de las curvas resistencia al corte vs desplazamiento, éstas son similares a las curvas carga vs desplazamiento, debido a que están en función al área de corte y la carga es la misma.

Por lo que de igual manera, el comportamiento de curvas en probetas fabricadas con concreto con fibras de acero es ligeramente distinto a las probetas con fibras sintéticas. Las curvas son más definidas en probetas con fibras de acero.

Describiendo el comportamiento en probetas con fibras de acero, se puede realizar de la siguiente manera:

- Se presenta un tramo inicial de ajuste de sistema
- Posteriormente existe un ascenso de forma lineal hasta alcanzar un primer pico de resistencia al corte, que puede atribuirse a alguna fisura en la probeta
- Enseguida se presenta un descenso sutil de resistencia, posteriormente existe una recuperación de la misma hasta alcanzar un pico máximo, lo cual puede atribuirse a que las fibras comienzan a trabajar dentro de la matriz del concreto
- Finalmente se presenta el residual de la curva, donde se observa una disminución gradual de la resistencia

Como el comportamiento de las curvas entre los dos tipos de fibras sintéticas es muy similar, se puede hacer una misma descripción para ambos tipos de probetas con fibra sintética de la siguiente manera:

- Primeramente, las curvas presentan un tramo inicial de ajuste de sistema
- Enseguida se presenta un tramo lineal en la curva hasta alcanzar un primer pico de resistencia al corte, que puede atribuirse a alguna fisura dentro de la probeta
- Posteriormente se presenta un descenso de resistencia
- Enseguida se presentan una serie de picos, lo que hacen que las curvas sean un poco indefinidas. En esta serie de picos, la resistencia sobrepasa a la alcanzada en el primer pico, por lo que se presenta la resistencia máxima
- Finalmente se presenta el residual de la curva, perdiendo gradualmente resistencia

La siguiente Tabla 5.10 muestra las resistencias al corte máximas promedio de los seis ensayos que se obtuvieron de cada conjunto de probetas ensayadas con las mismas características.

Tabla 5.10 Resistencias al corte máximas promedio en probetas tipo Luong CRF

Tipo de Fibra	Cantidad de Fibra kg/m ³	Res. Máx. Prom. (MPa)	Desv. Est.	Coefficiente Variación %	Res. Comp. (MPa)	Relación Res. Corte/Res. Compresión
Dramix RC6535BN	*40	6.2	0.32	5.1	38.4	16.1 %
	60	6.8	0.44	6.5	38.0	17.9 %
TUF-STRAND SF	5	4.7	0.42	8.9	39.5	11.9 %
	7	4.9	0.43	8.7	40.7	12.0 %
MAC MATRIX	5	4.8	0.83	10.4	39.3	12.2 %
	7	5.1	0.45	8.8	40.5	12.6 %

*Dato obtenido de la Tabla 4.3 del presente trabajo, con probetas de CRF de acero tipo con un diámetro de ranura de 75 mm y una altura de 60 mm.

En la tabla anterior los datos se presentan de la siguiente forma, en correspondencia con tipo de fibra, cantidad de fibra empleada en la mezcla, número de ensayos realizados, el promedio de resistencia al corte máxima, la desviación estándar de las resistencias máximas, el coeficiente de variación entre estas expresado en porcentaje, la resistencia a compresión expresada en MPa y la relación de resistencia al corte entre resistencia a compresión expresada en porcentaje. Realizando el análisis de los valores arrojados por la Tabla 5.10, se puede concluir lo siguiente:

- Para CRF acero tipo Dramix, se tiene una resistencia al corte máxima promedio (RCMP) de 6.2 y 6.8 MPa con 40 y 60 kg/m³ respectivamente. Se observa un mejoramiento del orden del 9 % con el aumento de cantidad de fibra.
- En el caso de CRF sintética tipo TUF STRAND SF se tiene una RCMP de 4.7 y 4.9 MPa para 5 y 7 kg/m³ de fibra respectivamente. Se observa un mejoramiento del orden del 4 % con el aumento de cantidad de fibra.
- Para CRF sintética tipo MAC MATRIX se tiene una RCMP de 4.8 y 5.1 MPa para 5 y 7 kg/m³ de fibra respectivamente. Se observa un mejoramiento del orden del 6 % con el aumento de cantidad de fibra.
- La tabla también muestra la variabilidad de los resultados con un coeficiente de variabilidad (CV) del orden de 5.1 al 6.5 % en fibras de acero y un CV de 8.8 al 10.4 % en fibras sintéticas
- Por lo que de lo anterior se resume en que las probetas que presentaron mayor resistencia al corte y menor coeficiente de variación fueron las fabricadas con fibras de acero tipo Dramix RC 65 35 BN.
- Finalmente, se tiene una relación promedio del orden del 17 % en CRF de acero y 12.2 % en el caso de CRF sintéticas.

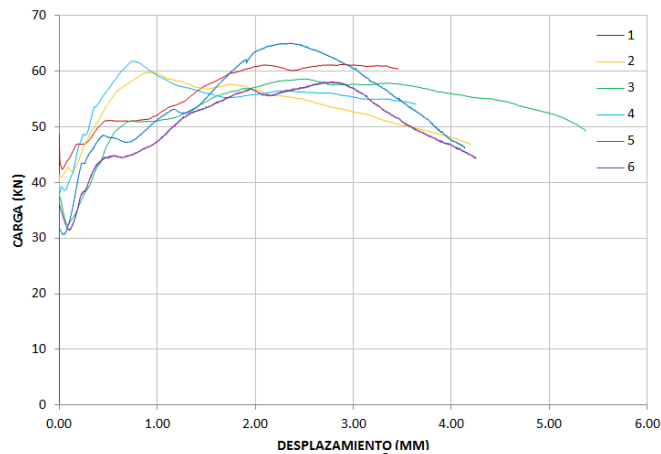
5.3.2.4 Comportamiento de curvas de deformación diametral

La deformación diametral se realizó de igual manera como se hizo en los primeros ensayos, mediante una cadena con extensómetro, con la finalidad de medir y ver el comportamiento de los cambios lineales del diámetro de la probeta.

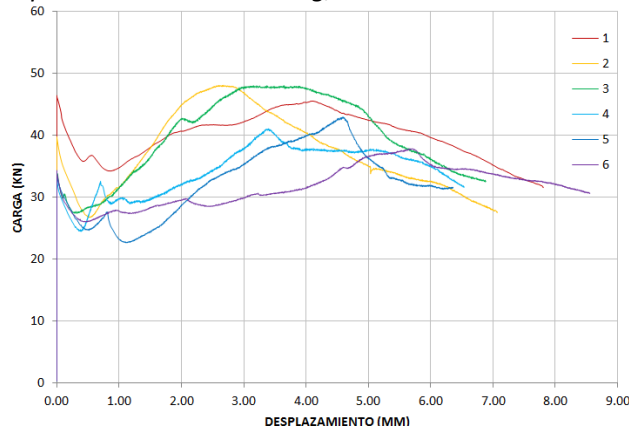
El comportamiento de las curvas es muy similar. Describiendo dicho comportamiento se puede decir que al inicio de la prueba el extensómetro se mantiene con registro casi nulo de deformación. Existe un descenso de carga el cual se atribuye al momento de presentarse fracturas, posteriormente aumenta la carga y el extensómetro comienza a registrar mayores lecturas del desplazamiento diametral que se tiene en la probeta. Una vez presentándose la carga máxima, se presenta una disminución en la carga, formándose el residual de la curva. El extensómetro continuó registrando deformación diametral.

Las seis curvas del mismo conjunto se plasmaron en una sola gráfica. La Gráfica 5.3 muestra las curvas de deformación diametral de cada conjunto, a) probetas de CRF fibras de acero tipo Dramix 60 kg/m³, b) probetas de CRF fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 7 kg/m³, c) probetas de CRF fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 7 kg/m³, d) probetas de CRF fibras sintéticas tipo TUF-STRAND 5 kg/m³ y e) probetas de CRF fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX 5 kg/m³.

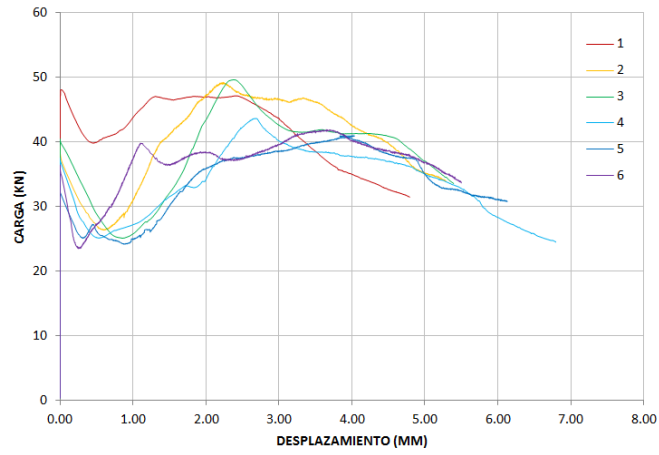
a) CRF, fibras de acero tipo Dramix RC 65 35 BN con 60 kg/m³



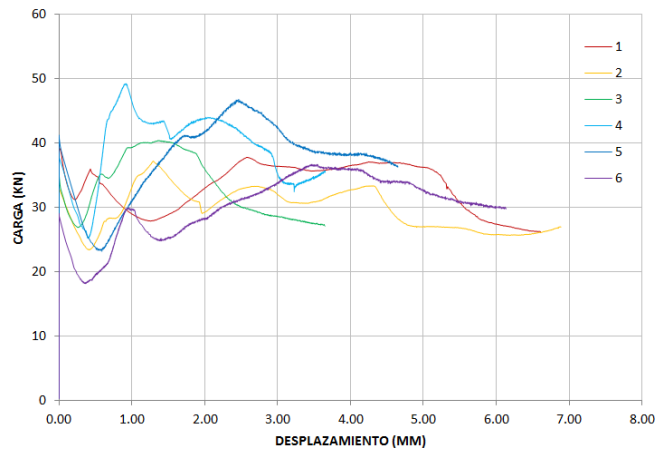
b) CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND con 7 kg/m³



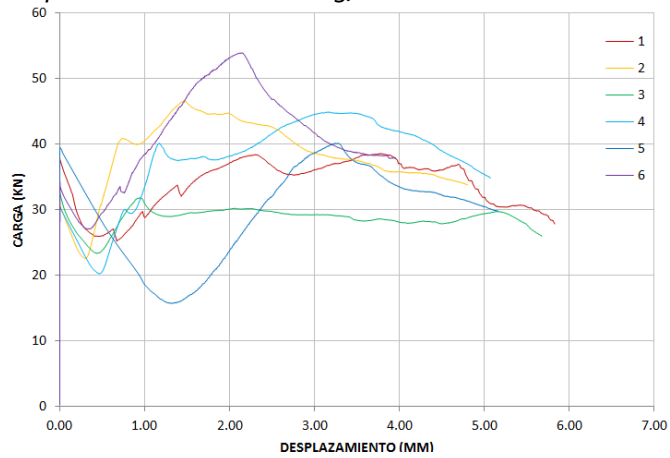
c) CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 7 kg/m^3



d) CRF, fibras sintéticas tipo TUF-STRAND con 5 kg/m^3



e) CRF, fibras sintéticas tipo MAC-MATRIX con 5 kg/m^3



Gráfica 5.3 Curvas de deformación diametral en CRF

5.3.3 Ensayos de corte tipo bloque “Z”

5.3.3.1 Modo de falla

El modo de falla, estuvo definido en todos los casos, por una fisura principal en el área de corte y fisuras secundarias de menor grado producidas por esfuerzos de flexión en los extremos de las ranuras de corte como se presentó en la Figura 4.13 del Capítulo 4 del presente trabajo.

En la Figura 5.7 se muestra una fotografía de la falla típica que ocurre en los bloques tipo “Z” de CRF. Es el mismo modo de falla en todos los bloques ensayados.



Figura 5.7 Modo de falla típico en bloques tipo “Z”, CRF acero Dramix RC 65 35 BN 60 kg/m³

5.3.3.2 Resultados

En la Tabla 5.11 se muestra las resistencias al corte máximas promedio que se obtuvieron de cada uno de los ensayos.

Tabla 5.11 Resultados promedio de ensayos de corte tipo bloque “Z” en CRF

Tipo de Fibra	Cantidad por m ³	Carga Máxima (Kn)	Resistencia al corte máxima (MPa)	Coefficiente de variación (%)	Resistencia a Compresión (MPa)	Relación Res. Corte/Res. Compresión %
Dramix RC6535BN	*40	94.6	4.6	6.2	38.4	12.0
	60	101.7	4.9	8.5	38.0	12.9
TUF-STRAND SF	5	100.8	4.9	5.3	39.5	12.4
	7	99.2	4.8	2.9	40.7	11.8
MAC-MATRIX	5	95.6	4.7	10.6	39.3	12.0
	7	89.7	4.4	8.3	40.5	10.8

*Dato obtenido de la Tabla 4.5 del presente trabajo

Por lo que se muestra en la tabla 5.11 se puede decir lo siguiente:

- En bloques de CRF de acero tipo Dramix la RCMP es de 4.6 y 4.9 MPa con 40 y 60 kg/m³.
- Para el caso de bloques de CRF sintética tipo TUF STRAND se tiene una RCMP de 4.9 y 4.8 con 5 y 7 kg/m³ respectivamente.
- En CRF sintética tipo MAC MATRIX se tiene una RCMP de 4.7 y 4.4 MPa con 5 y 7 kg/m³ respectivamente.
- Por otro lado la variabilidad de los resultados oscilan entre el 6.2 al 8.5 % en caso de fibras de acero y 2.9 a 10.6 % en CRF sintética.
- La relación promedio resistencia al corte entre compresión es de 12.5 % con fibras de acero y de 11.8 % con fibras sintéticas.

5.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS LUONG VS BLOQUES TIPO “Z”

Con los resultados mostrados anteriormente se presenta una comparativa entre los dos métodos realizados para la obtención de la resistencia al corte. Dicha comparativa se muestra en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Comparación Ensayos Luong vs Bloques tipo “Z”

ENSAYOS LUONG					
Tipo de Fibra	Cantidad por m ³	Resistencia al Corte (MPa)	Coefficiente de Variación (%)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Relación Res. Corte/Res. Compresión %
Dramix RC6535BN	40	6.2	5.1	38.4	16.1
	60	6.8	6.5	38.0	17.9
TUF-STRAND SF	5	4.7	8.9	39.5	11.9
	7	4.9	8.7	40.7	12.0
MAC-MATRIX	5	4.8	10.4	39.3	12.2
	7	5.1	8.8	40.5	12.6
ENSAYOS TIPO BLOQUE “Z”					
Dramix RC6535BN	40	4.6	6.2	38.4	12.0
	60	4.9	8.5	38.0	12.9
TUF-STRAND SF	5	4.9	5.3	39.5	12.4
	7	4.8	2.9	40.7	11.8
MAC-MATRIX	5	4.7	10.6	39.3	12.0
	7	4.4	8.3	40.5	10.8

- En la tabla se puede observar que los resultados de RCMP de los ensayos Luong se presentan en un rango de 4.7 a 6.8 MPa, en cambio en los bloques se tiene un rango de 4.4 a 4.9 MPa.
- Por otro lado la relación resistencia al corte entre resistencia a la compresión en ensayos Luong se observa mayor porcentaje en las probetas que fueron fabricadas con CRF de acero del orden del 17.5 % pero en probetas con fibras sintéticas se tiene un promedio de 12.1 %, en cambio los bloques tipo “Z” se tiene una relación en una rango de 10.8 a 12.9 %.

CONCLUSIONES

Esta investigación se hizo con la finalidad de implementar una metodología de ensayo para obtener la resistencia al corte del concreto. La metodología consistió en ensayar probetas de concreto cilíndricas de 150 mm de diámetro y con altura variables de 40, 60 y 80 mm, a las cuales se les fabricaron ranuras de corte de 75 y 100 mm de diámetro. Se presentan a continuación las siguientes conclusiones del trabajo experimental.

- Los ensayos fueron sencillos y de fácil aplicación con especímenes que se obtuvieron de cilindros convencionales para pruebas de resistencia a compresión.
- La metodología de Luong se puede considerar apropiada para obtener resultados de resistencia al corte del concreto.
- Las curvas obtenidas en las gráficas de carga-desplazamiento y resistencia al corte-desplazamiento tiene un comportamiento similar entre conjuntos de probetas de las mismas características.
- El conjunto de probetas que presentaron resultados de mayor resistencia al corte y menor coeficiente de variabilidad fueron las de 60 mm de altura y 75 mm de diámetro de ranura. En el caso de concreto sin fibra registraron valores de resistencia máxima al corte de 4.5 MPa y un coeficiente de variación de 8.1 %. En CRF se tiene un valor de resistencia al corte máxima de 6.2 MPa y un coeficiente de variación de 5.1 %.
- En bloques tipo "Z" se obtuvo una resistencia al corte 3.9 MPa y un coeficiente de variación del orden del 4.6 % en el caso de concretos sin fibra, y para concretos con fibra una resistencia al corte de 4.6 MPa y una variabilidad del 6.2 %.
- Con el análisis realizado en los resultados de los ensayos tipo Luong, se puede proponer una geometría de probetas estándar para esta metodología, con un diámetro de probeta de 150 mm, una altura de probeta de 60 mm, un diámetro de ranura de corte 75 mm.
- En lo que respecta a la comparativa de concretos con distintos tipos de fibra, los fabricados con fibras de acero tuvieron mayores resistencias al corte que los de fibras sintéticas, con un promedio de 6.5 MPa en fibras de acero y 4.9 MPa en fibras sintéticas
- Los resultados de resistencia al corte máximos promedio de los ensayos Luong se presentan en un rango de 4.7 a 6.8 MPa, en cambio en los bloques se tiene un rango de 4.4 a 4.9 MPa.
- La relación resistencia al corte entre resistencia a la compresión en ensayos Luong se observa mayor porcentaje en las probetas que fueron fabricadas con CRF de

acero del orden del 17.5 % pero en probetas con fibras sintéticas se tiene un promedio de 12.1 %, en cambio los bloques tipo "Z" se tiene una relación en un rango de 10.8 a 12.9 %.

- Finalmente, se puede decir que la resistencia al corte esta en relación directa con el ancho de corona de las probetas, a mayor ancho de corona se obtienen mayores resistencias.

REFERENCIAS

- Barr B. (1983). A compact shear test specimen
- Barr B. (1986). Development of a compact cylindrical shear test specimen
- Barr B. y Derradj M. (1990). Numerical study of a shear (Made II) Type test specimen geometry. Engineering fracture Mechanics. Vol 35, No. 1/2/3
- Barragán B. (2002). Failure and toughness of steel fiber reinforced concrete under tension and shear. Doctoral Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña
- Carmona S. y Contreras M. (2009). Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras
- Davies J. (1995). Study of shear fracture in mortar specimens. Cement and concrete research. Vol 25, No. 5
- Gutiérrez S., Sfer D. y Carol I. (2005). Comportamiento de falla del hormigón en modo mixto. Mecánica Computacional Vol XXIV pp 583-594
- Harmesen T. (2005). Diseño de estructuras de concreto armado 4ta. Edición. Pontificia Universidad Católica Del Perú
- Luong M. (1990). Tensile and shear strength of concrete and rocks. Engineering Fracture Mechanics Vol 3, No. 1/2/3.
- Luong M. (1992). Fracture testing of concrete and rock materials. Nuclear Engineering and Desing.
- Montenegro O., Carol I. y Sfer D. (2007). Characterizatiuon of confined mixed-mode fracture in concrete. FraMCoS 6 Congress. Catania.
- Montenegro O., Carol I. y Sfer D. (2008). Análisis de la falla del hormigón en modo mixto. Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Mecánica Computacional Vol XXVII pp 1365-1373
- Schlangen E. (1993). Experimental and numerical analysis of fracture processes in concrete. HERON, Vol 38, No. 2
- Sfer D., Gutiérrez S. y García M. (2009). Caracterización Del Hormigón Según Ensayo De Luong, Universidad Nacional de Tucumán
- Xu S. y Reinhardt H. (2005). Shear fracture on the basis of fracture mechanics. Otto Graf Journal, Stuttgart, 2005, 16, 21-78, Shilang Xu, Hans W. Reinhardt

ANEXOS