

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DEL CONCRETO PROYECTADO FIBRO-REFORZADO A SER UTILIZADO EN EL REVESTIMIENTO PRIMARIO DEL TÚNEL MINERO DE LA RINCONADA, PERTENECIENTE AL PROYECTO LÍNEA III DEL METRO DE CARACAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Delpino Azavache, María Auxiliadora

Elcure Suárez, Jorge Luis

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DEL CONCRETO PROYECTADO FIBRO-REFORZADO A SER UTILIZADO EN EL REVESTIMIENTO PRIMARIO DEL TÚNEL MINERO DE LA RINCONADA, PERTENECIENTE AL PROYECTO LÍNEA III DEL METRO DE CARACAS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Edgar Linares

Ing. Rafael Acuña

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Delpino Azavache, María Auxiliadora

Elcure Suárez, Jorge Luis

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2008

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, y permitirme realizar mis sueños por ser mi guía y compañero constante.

A la Virgen María Auxiliadora y la Virgen Del Valle, a quienes le tengo una profunda devoción y sé que ellas son los ángeles de la guarda que Dios me ha enviado.

A mis padres, Edgar y Miroslava quienes con su amor, cariño, consejos y apoyo han hecho de mi lo que hoy en día soy, gracias por su amor infinito, por esa entrega constante y por cumplir con el rol de padres y amigos a la perfección, ustedes han sido mi gran apoyo, me dan la fortaleza y el impulso necesario para continuar adelante, ustedes han confiado en mí más que yo misma, este logro que estoy a punto de obtener, también les pertenece porque sin ustedes esto no podría ser posible. Los amo! (Papás gracias por poner a mi disposición todos los recursos necesarios para solventar el problema que tuve, cuando me robaron la laptop con parte de la tesis sin respaldar, esto constituye, uno de los tanto ejemplos de apoyo que he recibido de ustedes).

A mis hermanos, Miroslavita y Edgar Luis (Bebé), que han estado conmigo en las buenas y en las malas, que me han apoyado y aconsejado oportunamente, gracias por mostrarme su cariño de formas distintas y muy particulares. Los quiero entrañablemente!

A mi abuelito Ramón (+), quien partió al cielo hace muy poco, Abuelito a pesar del percance que sufrí cuando viajaba a Amazonas para verte, me siento complacida de haberme despedido de ti. Te quiero mucho.

A mi abuelito Delpino (+), quien partió hace mucho tiempo, pero aun conservo de él excelentes recuerdos. Te quiero mucho abuelo.

A mis abuelas, Elsa y Soledad a quienes quiero mucho.

A mi amiga Marcela, quien es la hermana que la vida me permitió escoger, te quiero mucho socia.

A mis grandes amigos de la universidad, Flore, Josmar, Juancito y Jorge (Curito), con quienes he compartido momentos inolvidables, cosas únicas que siempre recordaré, cosas que vivimos en diversos lugares de nuestra maravillosa universidad, lugares en los cuales tenemos muchas anécdotas que contar, y fuera de ella también. Los quiero chicos.

A mis compañeros y amigos, Randolph, Gastón, Fabio, Félix, Tania, Yraidis, Mili, Mario, Andito, Dennys. Gracias por su apoyo. En especial a Yraidis con quien me he trasnochado en las últimas semanas para trabajar en nuestras respectivas tesis, gracias por el apoyo niña.

A toda la gente buena que me ha acompañado a lo largo de mi vida, y en algunas etapas de ella, gracias a Alexander y a Nacho con quienes compartí momentos especiales. Los quiero mucho.

A Félix, quien ha sido un apoyo desde que lo conocí, quien me ha aconsejado de manera desinteresada, y me ha brindado su amor y cariño. A su linda familia por las reiteradas muestras de aprecio y en especial a mi excuñis Rebequita a la que considero una excelente amiga. Los quiero mucho.

A mi cuñada Génesis, con quien comparto a diario y a quien estimo mucho.

A Paulita (Novia de Jorge), quien estuvo siempre dispuesta ayudarnos con todo lo relativo a la tesis y quien se estreso más por ella que nosotros mismos jaja.

A mi amigo y compañero de tesis Jorge (Curito), quien me hizo vencer la teoría de que todos los compañeros terminan peleados (jaja), a pesar de los inconvenientes que pudieran generarse, logramos resolver todo y siempre con buen humor, con terapia de risas y carcajadas. Sin duda una experiencia inolvidable. Te quiero mucho amiguito.

María Auxiliadora Delpino Azavache

DEDICATORIA

Culminado este trabajo quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han llenado de momentos inolvidables mi formación académica.

A mis padres: Mirella y Moisés, que aunque ninguno de ellos pudo estudiar, han hecho lo humanamente posible para mi formación profesional.

A mis hermanos: Lilibeth, Henry, Tyler y Raúl, que han sabido darme el apoyo necesario para superar los obstáculos, y alcanzar mis metas, gracias por sus consejos y las palabras de alientos en los momentos más difíciles

A Paula, con su dulzura, sus atenciones me ha demostrado ser una mujer maravillosa, su apoyo incondicional en todo momento ha tenido mucho que ver en mi desempeño académico, además ha llenado mi vida de alegría con todo su amor.

A Florhermis, Josmar y Vasco, amigas y amigo que se han comportado a la altura en todo momento, sus consejos me han servido de mucho, para luchar y seguir adelante.

Un especial agradecimiento a María Auxiliadora que me ha demostrado su solidaridad en todo momento, y hoy en día la considero la mejor compañera.

Jorge Luis Elcure Suárez

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor César Peñuela, quien ha sido un excelente tutor académico, brindándonos su apoyo y dándonos ánimos para que sigamos adelante, quien nos ha transmitido sus conocimientos con la mayor dedicación, gracias profesor, por ayudarnos a lograr esta meta, aparte de Profesor y Tutor, es nuestro Padrino de Grado y Amigo.

A nuestros Tutores Industriales: el Ing. Rafael Acuña y el Ing. Edgar Linares, quienes nos brindaron su apoyo y conocimiento para poder realizar nuestro Trabajo Especial de Grado. Así como también todos los recursos técnicos para el desarrollo de esta tesis.

A Mabel Ortega, por la ayuda brindada cada vez que necesitábamos que ella nos facilitara alguna información.

Al Sr. Lorenzo Isturiz, el cual nos facilitó toda información útil que le llegara a sus manos, para que nosotros pudiéramos llevar a cabo este trabajo de investigación.

A la Constructora Norberto Odebrecht, por permitirnos hacer nuestra tesis, dentro de sus instalaciones.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
ÍNDICE DE FOTOS	XIII
RESUMEN	XIV
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I	3
1.1. Planteamiento del Problema	4
1.2. Marco Referencial	5
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo General	7
1.3.2. Objetivos Específicos	7
Capítulo II	9
Marco Teórico	9
2.1. Concreto Proyectado	10
2.1.1. Características del Concreto Proyectado	10
2.1.2. Usos del Concreto Proyectado	11
2.1.3. Procesos Utilizados para la Proyección del Concreto	12
2.1.4. Ventajas y Desventajas de los Procesos de Proyección	13
2.1.5. Materiales que Componen el Concreto Proyectado	15
2.2. Concreto Proyectado Fibroreforzado	17
2.2.1. Características que Proporciona las Fibras de Acero al Hormigón o Concreto Proyectado	20
2.2.2. Principales Aplicaciones del Hormigón Reforzado con Fibras de Acero (HRFA)	21
2.2.3. Ensayo a Flexotracción del Concreto Proyectado con Fibras de Acero	23
2.2.4. Comportamiento mecánico del hormigón armado con fibras	24
2.2.5. Normativa Utilizada para la evaluación del Concreto Fibroreforzado	27
2.2.5.1 ASTM C1609	28
2.2.5.2 ASTM C1018	32
2.2.6. Descripción Técnica de las Fibras de Acero Utilizadas	36
Capítulo III	38
Método	38
3.1. Tipo de Investigación	39
3.2. Fuentes y Técnicas de recolección de la Información	39
3.3. Etapas de Investigación	40
3.3.1. Documental	40
3.3.2. Asistencia a la Elaboración y Ensayo del Concreto con	41

	Fibras de Acero	
	3.3.3. Procesamiento y Cálculo de Parámetros a Evaluar	41
	3.3.3.1. Procesamiento de los Datos	41
	3.3.3.2. Cálculo de los Datos	44
	3.3.4. Contrastación de los Resultados	45
	3.3.5. Recomendar la Dosificación óptima	46
Capítulo IV	Resultados y Análisis.	47
	4.1. Diseño de mezcla empleada en el Túnel Minero.	48
	4.2. Valores requeridos por el Calculista.	52
	4.3. Resultados obtenidos de las viguetas ensayadas con Fibra Dramix y Maccaferri.	53
	4.3.1. Resultados con 30 kg/m ³ de Fibra Dramix.	54
	4.3.2. Resultados con 35 kg/m ³ de Fibra Dramix.	60
	4.3.3. Resultados con 40 kg/m ³ de Fibra Dramix.	63
	4.3.4. Resultados con 35 kg/m ³ de Fibra Maccaferri.	68
	4.3.5. Resultados con 40 kg/m ³ de Fibra Maccaferri.	73
	4.3.6. Resumen de los ensayos con 30 kg/m ³ de Fibra Dramix.	80
	4.3.7. Resumen de los ensayos con 35 kg/m ³ de Fibra Dramix.	82
	4.3.8. Resumen de los ensayos con 40 kg/m ³ de Fibra Dramix.	84
	4.3.9. Resumen de los ensayos con 35 kg/m ³ de Fibra Maccaferri.	86
	4.3.10. Resumen de los ensayos con 40 kg/m ³ de Fibra Maccaferri.	88
	4.3.11. Resumen de los ensayos de Viguetas Sin Fibras	90
	4.3.12. Comparación de los Resultados de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 35 kg., con lo requerido por Proyecto.	96
	4.3.13. Comparación de los Resultados de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 40 Kg., con lo requerido por Proyecto.	98
Capítulo V		100
Conclusiones		101
Recomendaciones		105
Referencias Bibliográficas		106
Anexos		110
	1. Moldes Metálicos para Bandejas de Concreto Proyectado	111
	2. Elaboración de la Mezcla de Concreto con Fibra	111
	3. Prueba de Asentamiento del Cono de Abrams	112
	4. Piscina para el curado de las Bandejas de Concreto y Cilindros Estandarizados	112

5.	Viguetas Dramix	113
6.	Vigueta Ensayada donde se aprecia las Fibras de Acero	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Tipos de Aditivos Químicos para Concretos	15
Tabla 2.2	Forma de los diferentes tipos de fibra.	19
Tabla 4.1.	Dosificación de Concreto	49
Tabla 4.2.	Ensayo de Resistencia a Compresión Simple, de Núcleos con Fibra Maccaferri.	50
Tabla 4.3.	Ensayo de Resistencia a Compresión Simple, de Núcleos con Fibra Dramix.	50
Tabla 4.4.	Ensayo de Resistencia a Compresión Simple, Cilindros Estandarizados con Fibra Maccaferri.	51
Tabla 4.5.	Valores de Tenacidad y Esfuerzos Residual Requeridos a Nivel de Proyecto.	52
Tabla 4.6.	Resumen de Vigueta N° 1 con 30 kg de Fibra Dramix	54
Tabla 4.7.	Resumen de Vigueta N° 5 con 30 kg de Fibra Dramix	57
Tabla 4.8.	Resumen de Vigueta N° 10 con 30 kg de Fibra Dramix	58
Tabla 4.9.	Resumen de Vigueta N° 12 con 30 kg de Fibra Dramix	59
Tabla 4.10.	Resumen de Vigueta N° 3 con 35 kg de Fibra Dramix	60
Tabla 4.11.	Resumen de Vigueta N° 4 con 35 kg de Fibra Dramix	61
Tabla 4.12.	Resumen de Vigueta N° 9 con 35 kg de Fibra Dramix	62
Tabla 4.13.	Resumen de Vigueta N° 11 con 35 kg de Fibra Dramix	63
Tabla 4.14.	Resumen de Vigueta N° 2 con 40 kg de Fibra Dramix	64
Tabla 4.15.	Resumen de Vigueta N° 6 con 40 kg de Fibra Dramix	65
Tabla 4.16.	Resumen de Vigueta N° 7 con 40 kg de Fibra Dramix	66
Tabla 4.17.	Resumen de Vigueta N° 8 con 40 kg de Fibra Dramix	67
Tabla 4.18.	Resumen de Vigueta N° 1 con 35 kg de Fibra Maccaferri	68
Tabla 4.19.	Resumen de Vigueta N° 2 con 35 kg de Fibra Maccaferri	69
Tabla 4.20.	Resumen de Vigueta N° 3 con 35 kg de Fibra Maccaferri	70
Tabla 4.21.	Resumen de Vigueta N° 4 con 35 kg de Fibra Maccaferri	71
Tabla 4.22.	Resumen de Vigueta N° 6 con 35 kg de Fibra Maccaferri	72
Tabla 4.23.	Resumen de Vigueta N° 1 con 40 kg de Fibra Maccaferri	73
Tabla 4.24.	Resumen de Vigueta N° 2 con 40 kg de Fibra Maccaferri	74
Tabla 4.25.	Resumen de Vigueta N° 3 con 40 kg de Fibra Maccaferri	75
Tabla 4.26.	Resumen de Vigueta N° 4 con 40 kg de Fibra Maccaferri	76
Tabla 4.27.	Resumen de Vigueta N° 5 con 40 kg de Fibra Maccaferri	77
Tabla 4.28.	Resumen de Vigueta N° 6 con 40 kg de Fibra Maccaferri	78

Tabla 4.29.	Resumen de Vigueta N° 7 con 40 kg de Fibra Maccaferri	79
Tabla 4.30.	Resumen de 30 kg de Fibra Dramix	80
Tabla 4.31.	Resumen de 35 kg de Fibra Dramix	82
Tabla 4.32.	Resumen de 40 kg de Fibra Dramix	84
Tabla 4.33.	Resumen de 35 kg de Fibra Maccaferri	86
Tabla 4.34.	Resumen de 40 kg de Fibra Maccaferri	88
Tabla 4.35.	Resumen de vigueta N° 1 Sin Fibra	90
Tabla 4.36.	Resumen de vigueta N° 2 Sin Fibra	92
Tabla 4.37.	Resumen de vigueta N° 3 Sin Fibra	93
Tabla 4.38.	Resumen de vigueta Sin Fibra	94
Tabla 4.39.	Resumen de Carga P_1 Promedio por cada tipo de Ensayo	94
Tabla 4.40.	Resumen de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 35 kg	96
Tabla 4.41.	Resumen de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 40 kg	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Esquema del Ensayo de viga con Carga a Tercios	24
Figura 2.2.	Curva Tensión Deformación Típica del Hormigón Proyectado con Fibra de Acero	25
Figura 2.3.	Curva Carga vs. Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios ($P_p=P_1$)	29
Figura 2.4.	Curva Carga vs. Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios	30
Figura 2.5.	Curva Carga vs. Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios, Cóncavo al alza de la primera grieta.	33
Figura 2.6.	Curva Carga vs. Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios, Convexo al alza de la primera grieta.	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 4.1.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 1 del Fabricante Dramix con 30kg de Fibra por m ³ de Concreto.	54
Grafico 4.2.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 5 del Fabricante Dramix con 30kg de Fibra por m ³ de Concreto.	57
Grafico 4.3.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 10 del Fabricante Dramix con 30kg de Fibra por m ³ de Concreto.	58
Grafico 4.4.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 12 del Fabricante Dramix con 30kg de Fibra por m ³ de Concreto.	59
Grafico 4.5.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 3 del Fabricante Dramix con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	60
Grafico 4.6.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 4 del Fabricante Dramix con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	61
Grafico 4.7.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 9 del Fabricante Dramix con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	62
Grafico 4.8.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 11 del Fabricante Dramix con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	63
Grafico 4.9.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 2 del Fabricante Dramix con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	64
Grafico 4.10.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 6 del Fabricante Dramix con 40Kg de Fibra por m ³ de Concreto.	65
Grafico 4.11.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 7 del Fabricante Dramix con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	66
Grafico 4.12.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 8 del Fabricante Dramix con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	67
Grafico 4.13.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 1 del Fabricante Maccaferri con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	68
Grafico 4.14.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 2 del Fabricante Maccaferri con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	69
Grafico 4.15.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 3 del Fabricante Maccaferri con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	70
Grafico 4.16.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 4 del Fabricante Maccaferri con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	71
Grafico 4.17.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 6 del Fabricante Maccaferri con 35kg de Fibra por m ³ de Concreto.	72

Grafico 4.18.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 1 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	73
Grafico 4.19.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 2 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	74
Grafico 4.20.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 3 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	75
Grafico 4.21.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 4 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	76
Grafico 4.22.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 5 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	77
Grafico 4.23.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 6 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	78
Grafico 4.24.	Carga vs Deformación de la Vigueta N° 7 del Fabricante Maccaferri con 40kg de Fibra por m ³ de Concreto.	79
Grafico 4.25.	Carga vs Deformación de Viguetas N° 1 sin Fibras	90
Grafico 4.26.	Carga vs Deformación de Viguetas N° 2 sin Fibras	92
Grafico 4.27.	Carga vs Deformación de Viguetas N° 3 sin Fibras	93

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 2.1.	Equipo de Proyección por Vía Seca	12
Foto 2.2.	Equipo de Proyección por Vía Húmeda	13

**Delpino A., Maria A.
Elcure S., Jorge L.**

ESTUDIO DEL CONCRETO PROYECTADO FIBROREFORZADO A SER UTILIZADO EN EL REVESTIMIENTO PRIMARIO DEL TÚNEL MINERO DE LA RINCONADA, PERTENECIENTE AL PROYECTO LÍNEA III DEL METRO DE CARACAS

**Tutor Académico: Prof. César Peñuela.
Tutores Industriales: Ing. Rafael Acuña e Ing. Edgar Linares.
Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil. 2008, n° pág. 113**

Palabras Claves: Concreto Proyectado, Concreto Fibroreforzado, Revestimiento de Túnel, Metro de Caracas.

Resumen

Actualmente se construye un Túnel Minero en la cola de maniobra de la Rinconada perteneciente al Proyecto Línea III del Metro de Caracas, esta obra subterránea la está ejecutando la Constructora Norberto Odebrecht. S.A., quien para su ejecución propone la adición de fibras de acero en el concreto proyectado del revestimiento primario del túnel, de tal forma que este Trabajo Especial de Grado consistió en el estudio del concreto proyectado fibroreforzado para evaluar si éste cumplía con los parámetros que exige el proyectista, para que pueda ser usado en el túnel como sustituto de la malla de acero electrosoldada.

Se plantea el uso del concreto proyectado reforzado con fibras, como sustituto de la malla de acero porque las fibras le proporciona al concreto propiedades mecánicas, ya que éste pasa de tener una falla frágil a una falla dúctil y adicionalmente a eso, cumple con la funciones de la malla electrosoldada, la cual consiste en limitar los agrietamientos que se producen por la retracción del

concreto y también permite obtener mayor rendimiento en obra, debido a que su fácil colocación.

Para llevar a cabo el este estudio, se ensayaron varias viguetas de concreto con diversas cantidades de fibra y distintos fabricantes, para determinar cuál cantidad de fibra es la óptima a ser usada y cuál es el fabricante que posee un mejor desempeño.

De los ensayos se obtuvieron valores de carga y deformación, los cuales se graficaron para obtener los parámetros que la Norma ASTM C1018 en la que indica que deben ser calculados, el estudio comparativo se llevó a cabo con los valores que el proyectista estableció. También se hallaron los parámetros correspondientes a la Norma ASTM C1609, pero no se llevó a cabo el análisis comparativo debido a que el proyectista aun no ha definido esos valores.

Se expresaron los valores de resistencia a la compresión simple de la dosificación de concreto propuesta en el túnel minero, donde los ensayos fueron realizados a cilindros estandarizados y a núcleos extraídos de las bandejas proyectadas.

En los resultados que se obtuvieron, se observó que al aumentar la fibra la ductilidad disminuía, esto puede estar sucediendo porque el equipo de proyección utilizado no es el adecuado, y las fibras no se mezclan uniformemente con el concreto, por ende la adherencia se ve afectada, originando que las fibras no trabajen adecuadamente. Por otra parte los ensayos realizados se llevaron a cabo, sin el dispositivo servo-controlador, el cual tiene la función de controlar el aumento de la deformación, y esto puede estar generando errores en los ensayos.

Se recomendó la dosificación de 30kg de fibra por cada m³ de concreto, porque los valores obtenidos del análisis realizado indican que esta concentración de fibra tiene mayor desempeño, a pesar que uno de los índices de tenacidad no logró alcanzar el valor requerido, como es el caso del índice $R_{10,20}$, se recomendó esta dosificación porque se considero que pese a ello tiene buen comportamiento.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela el campo de la construcción de obras civiles, ha tomado auge en las últimas décadas, esto ha originado la evolución en cuanto a técnicas y métodos de construcción, así como el perfeccionamiento de propiedades físico químicas de los materiales que son utilizados.

La evolución de los métodos en el campo de la construcción desde un punto de vista general, básicamente tienen la finalidad de proporcionar mayor rendimiento y mejor funcionamiento, enmarcado en la seguridad que exige cada obra, un ejemplo de tales métodos es el caso del concreto proyectado (shotcrete), que se viene aplicando desde hace varios años en el campo de la construcción, como por ejemplo en la estabilización de taludes, pantallas atirantadas, obras hidráulicas, revestimiento de túneles, entre otros. Como parte de su evolución tecnológica se han adicionado ciertas fibras a la matriz del concreto, tales como: Fibras de vidrio, acero, polipropileno, etc.

El presente Trabajo Especial de Grado consistió en el análisis de los resultados de las diversas dosificaciones ensayadas de fibra Dramix y Maccaferri, en la mezcla de concreto proyectado, con la finalidad de constatar qué cantidad de fibra cumple con lo establecido por el calculista Figueredo Ferraz.

Para ello, se empleó la Norma ASTM C1018, la cual permite evaluar el desempeño a flexión, considerando que ésta es una de las propiedades que la fibra le proporciona al concreto.

En tal sentido, la investigación se conforma en V capítulos, desarrollado de la siguiente manera:

El capítulo I, define el contexto general del trabajo, planteando la problemática y justificando la realización del estudio. Asimismo, se describen los objetivos: generales y específicos.

El capítulo II, fundamenta la base teórica necesaria para la comprensión del tema y los parámetros de diseños.

El capítulo III comprende el método y la metodología utilizada, se define el tipo de investigación y se plantea el procedimiento a seguir para el desarrollo del análisis.

El capítulo IV, expone los resultados derivados de la metodología y análisis de los valores obtenidos con los parámetros de diseños exigidos por el proyectista.

Finalmente, el capítulo V comprende las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
MARCO REFERENCIAL
OBJETIVOS

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se construye un Túnel Minero en la cola de maniobra de La Rinconada perteneciente al Proyecto Línea III del Metro de Caracas, que está siendo ejecutado por la Constructora Norberto Odebrecht, S.A., para ello se pretende utilizar fibras de acero en el concreto proyectado del túnel; ésta es una tecnología que se viene utilizando hace varios años en diversos túneles del mundo, al adicionar fibras de acero, el concreto mejora sus propiedades debido a que adquiere ductilidad, a su vez cumple con la función de limitar los agrietamientos por retracción y hace que las obras se ejecuten en menor tiempo debido a su fácil utilización. Para que fuese aprobado el uso de esta tecnología la empresa Odebrecht realizó varias dosificaciones con diversa cantidad de fibra, éstas fueron ensayadas para determinar cual dosificación es la más conveniente.

Este trabajo especial de grado consiste en analizar las dosificaciones ensayadas y contrastar los resultados obtenidos con los valores requeridos por el proyectista, para ello se determinó la energía existente en cada vigueta ensayada, así como los índices de tenacidad, esfuerzo residual y módulo de rotura, también fueron comparados los aportes que le proporciona la fibra al concreto, para ello se ensayaron viguetas sin fibras. Los ensayos se hicieron conforme a la Norma Americana ASTM C1018.

1.2. MARCO REFERENCIAL

A nivel mundial se están desarrollando tecnologías que mejorarán el rendimiento y la calidad de las obras, una de ellas es el uso de fibras de acero dentro de la masa del concreto; tecnología que según diversos estudios realizados en países desarrollados e industrializados, han arrojado resultados que evidencian una mejora sustancial en sus propiedades mecánicas (*Ryan, 1976*), (*Bernard, 1999*) y otros.

Esta tecnología es ampliamente utilizada en diversas áreas de la ingeniería, siendo su empleo más común en la construcción de túneles mineros o en túneles escudos, también llamados (Tunnel Boring Machine) o TBM por sus siglas en inglés, los cuales son excavados por topas o tuneladoras según el argot utilizado en ese medio. Los investigadores afirman que el concreto mejora su resistencia a la flexotracción ya que adquiere ductilidad, del mismo modo que disminuye los agrietamientos debido a la retracción del concreto.

Particularmente en Túneles Mineros; los investigadores (*Ryan, 1976*), (*Bernard, 1999*) y otros. aseguran que el uso de fibras de acero sustituye la malla electrosoldada, ya que cumple con la funciones que tenía la misma, y que además su uso reduce los espesores del concreto proyectado en las capas del túnel (bien sean los espesores del Revestimiento Primario o de Revestimiento Secundario), lo cual se traduce en un ahorro significativo de materiales, tiempo y dinero, ya que su colocación es bastante sencilla en comparación con la malla electrosoldada, que según muchos expertos aseguran que su colocación presenta numerosas dificultades.

El Túnel Minero de la Rinconada tiene una longitud estimada de 417m, tendrá uso ferroviario y básicamente será de servicio. Su importancia radica en que será parte de la futura extensión de la Línea III del Metro de Caracas que comprenderá el tramo Zoológico – La Rinconada, con el cual se ha previsto unir la Línea III con la Línea II del Metro de Caracas, la cual irá desde Ciudad Universitaria hasta Zona Rental pasando por la Estación Zoológico.

Con este Trabajo de Investigación se pretende evaluar el concreto proyectado con fibras de acero de dos casas de fibras, para determinar si ambas cumplen con los parámetros establecidos por el proyectista en cuanto al Revestimiento Primario del Túnel Minero, en caso de que se cumpla con dichos parámetros, se indicara que fabricante de fibra (Dramix o Maccaferri) arrojan mejores resultados, y cuál es el incremento que dichas fibras añaden al concreto en cuanto a ductilidad, por último se recomendará la dosificación más conveniente a ser usada en el Túnel Minero de La Rinconada.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General:

Analizar los resultados de las dosificaciones de concreto con fibras de acero, a ser utilizadas en la primera fase de construcción del Túnel Minero de la Cola de maniobra de La Rinconada, perteneciente al Proyecto Línea III del Metro de Caracas.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- 1.** Obtener los índices de tenacidad, factores de esfuerzo residual, energía y módulo de rotura, en las viguetas ensayadas con fibra Dramix y Maccaferri.
- 2.** Contrastar los valores obtenidos en las muestras ensayadas con lo establecido por el proyectista. Los ensayos se harán de acuerdo a lo especificado en las Normas Americanas en cuanto a la ductilidad y niveles de resistencia del concreto proyectado con fibras.
- 3.** Cuantificar el aporte que la fibra le proporciona al concreto, para ello se ensayarán viguetas sin fibras.
- 4.** Recomendar cuál es la dosificación óptima a ser usada en el revestimiento primario del Túnel Minero de la Línea III del Metro de Caracas.

5. Concluir con respecto a cuál fibra, Dramix o Maccaferri, proporciona mayor ductilidad a las viguetas de concreto ensayadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCRETO PROYECTADO

El concreto proyectado (o shotcrete) forma parte importante de los procesos de sostenimiento y revestimiento estructural, se conoce como un proceso por el cual el concreto es proyectado por medio de una manguera sobre una superficie a alta velocidad (rango de velocidades: 75m/s a 100m/s). La mezcla que se utiliza para este tipo de concreto es relativamente seca y se consolida por la fuerza del impacto, a la vez que desarrolla una fuerza de compresión similar al concreto normal o al concreto de alta resistencia dependiendo de la dosificación usada.

2.1.1 Características del Concreto Proyectado

En general las razones principales de utilizar concreto proyectado, son básicamente: (*Ryan, 1976*)

- Ayuda a prevenir o minimizar el desplazamiento del terreno.
- Genera un aumento en la resistencia del suelo o macizo rocoso al rellenar los poros y fracturas.
- Transfiere las presiones a la roca adyacente estable, como resultado de la adhesión que genera.
- No se necesita encofrado alguno para su colocación en obras subterráneas.

2.1.2 Usos del Concreto Proyectado

El hormigón lanzado o proyectado como proceso de construcción, posee ventajas que han hecho de esta técnica una importante herramienta para una variedad de trabajos, donde están presentes la economía, flexibilidad, eficiencia y calidad.

En resumen el hormigón proyectado se utiliza principalmente para:

- Impermeabilizaciones.
- Revestimiento temporal o permanente en túneles y galerías, con gran éxito y profusión en el nuevo sistema austriaco de construcción de túneles (NATM).
- Consolidación en edificaciones.
- Hormigonado de cúpulas.
- Protecciones y blindajes.
- Hormigonado de muros de contención, recipientes, tanques, piscinas, silos, etc.
- Estabilización de taludes.
- Pantallas atirantadas.
- Operaciones mineras.
- Fundaciones de edificios.
- Revestimiento de canales.
- Reconstrucción y reparación de puentes, túneles, edificios, muelles, etc.
- Restauración de edificios atacados por incendios.

2.1.3 Procesos Utilizados para la Proyección del Concreto

- **Vía Seca**

Es una técnica que consiste en mezclar el cemento y los áridos dentro de un equipo de proyección adecuado, en el cual la mezcla se introduce dentro de un flujo de aire comprimido y es transportada a través de tuberías o mangueras hacia una boquilla, en donde es introducida el agua necesaria para hidratar la mezcla, la cual es proyectada continuamente sobre su lugar de ubicación.



Foto 2.1. Equipo de Proyección por Vía Seca

Fuente: Elaboración Propia

- **Vía Húmeda**

Es una técnica en la que el cemento, áridos y agua se mezclan adecuadamente y se introducen en una bomba o equipo de impulsión,

y es transportado a través de un conducto hasta la boquilla, donde la mezcla es lanzada en forma neumática y continua al sitio. Normalmente la mezcla incorpora aditivos y también puede incluir fibras (sintéticas, vidrio, al carbono o metálicas) o una combinación de ambas. (*Especificación Europea Para Hormigón Proyectado, 1996*)



Foto 2.2. Equipo de Proyección por Vía Húmeda
Fuente: Facilitada por el Ing. Edgar Linares

2.1.4 Ventajas y Desventajas de los Procesos de Proyección

➤ Ventajas

▪ Vía Seca

- ✓ Facilidad de aplicación en condiciones adversas. (Filtraciones).
- ✓ Permite bajas relaciones agua/cemento
- ✓ Maquinaria más económica.

- ✓ Permite optimizar consumos de concreto.
- ✓ Mayor energía de compactación.

- **Vía Húmeda**

- ✓ Mayor control sobre relación agua/cemento.
- ✓ Permite uso de superplastificantes.
- ✓ Mejor distribución del agua en la mezcla.
- ✓ Menor rebote que en vía seca.
- ✓ Mayor rendimiento de colocación.
- ✓ Mayor homogeneidad entre capas
- ✓ Permite uso de equipos “convencionales” de bombeo.

➤ **Desventajas**

- **Vía Seca**

- ✓ Mayor generación de polvo.
- ✓ Mayor porcentaje de rebote.
- ✓ Condiciones de aplicación ambientalmente inconvenientes.
- ✓ Exige mayor experiencia en mano de obra.
- ✓ Compresor de gran capacidad.

- **Vía Húmeda**

- ✓ Equipos más costosos con mantenimiento más exigente.
- ✓ Mayor logística y coordinación entre planta de mezcla y obra.
- ✓ Menor calidad en la compactación que en la vía seca.

- ✓ No es muy eficaz donde hay filtraciones de agua
- ✓ Relación agua/cemento más alta que la obtenida por vía seca.

2.1.5 Materiales que Componen el Concreto Proyectado

En la técnica del concreto proyectado se utilizan diversos tipos de aditivos, los cuales se añaden en pequeña proporción durante el mezclado, con la finalidad de modificar algunas de las propiedades del hormigón proyectado, tanto en el estado fresco como posteriormente en estado endurecido.

Los aditivos pueden seleccionarse en función de los requerimientos técnicos y de las características de las obras, tales como los que controlan la hidratación, aceleradores de fraguado, superplastificantes, microsílíce (humo de sílice o polvo de sílice), agentes de curado y otros.

TIPO	EFFECTOS SOBRE LAS MEZCLAS
A	Reductores de agua
B	Retardadores de fraguado
C	Aceleradores de fraguado
D	Reductores de agua y retardadores de fraguado
E	Reductores de agua y aceleradores de fraguado
F	Reductores de agua de alto rango
G	Reductores de agua de alto rango y retardadores

Tabla 2.1: Tipos de Aditivos Químicos para Concretos

Fuente: Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2004

Los aditivos a ser usados en el concreto proyectado del Túnel Minero son los siguientes:

- Polyheed es un aditivo reductor de agua (Tipo A), que es utilizado para mejorar la trabajabilidad, el bombeo y el acabado del concreto. Al reducir el agua en la mezcla se obtienen relaciones agua cemento más bajas, lo cual produce un cemento más consistente. (BASF, 2007)
- Rheobuild es un aditivo reductor de agua de alto rango (Tipo F), el cual es utilizado para que el concreto fluya fácilmente a través de la manguera, hasta el lugar de proyección. (BASF, 2007)

- **Ventajas del Concreto en Estado Plástico**

- ✓ Amplia retención de asentamiento
- ✓ Tiempo de fraguado controlado
- ✓ Cohesivo y no segregante
- ✓ Agua de exudación mínima

- **Ventajas del Concreto en Estado Endurecido**

- ✓ Resistencias tempranas más altas
- ✓ Incremento en resistencias finales a compresión
- ✓ Módulo de elasticidad mayor
- ✓ Adherencia al acero mejorada
- ✓ Baja permeabilidad
- ✓ Alta durabilidad
- ✓ Control de Corrosión

- Meyco SA 160 es un aditivo acelerador de fraguado de alto desempeño, para usarse en el proceso de lanzado por vía húmeda, pero también puede usarse en el proceso de concreto lanzado por vía seca. Es un aditivo líquido, cuya dosificación puede variar de acuerdo a los tiempos deseados de aplicación y de endurecimiento. (BASF, 2007)
 - Características y Ventajas.
 - ✓ Aplicación rápida y resistencias tempranas más altas que con el concreto lanzado sin acelerantes.
 - ✓ Posible incremento en el grosor de la capa.
 - ✓ Progreso seguro en la rapidez del trabajo.
 - ✓ Baja viscosidad.
 - ✓ Facilidad al mezclarlo con el concreto, incluso a bajas temperaturas.
 - ✓ Menor consumo.
 - ✓ Mayor durabilidad del concreto lanzado en comparación con los acelerantes.
- Microsílice es un polvo que al ser añadido en la mezcla de concreto, reduce la porosidad y aumenta la resistencia del mismo.

2.2 CONCRETO PROYECTADO FIBROREFORZADO

El hormigón reforzado con fibras, cuyo uso en el mundo de la construcción está avanzando a gran velocidad, es aquel hormigón en el que se han incluido fibras en una proporción adecuada para de esta manera mejorar una o varias de sus propiedades. Las fibras actúan mejorando algunas de las características de los hormigones convencionales, siendo

fundamentales los aspectos de tenacidad, control de proceso de fisuración y resistencia a flexotracción. La transmisión de esfuerzos fibras-matriz se produce por adherencia, superponiendo acciones que involucran fenómenos de adhesión, fricción y entrecruzamiento mecánico.

La adición de fibras en un material frágil como el concreto, intenta convertirlo en un material dúctil y actuar sobre la fisuración de la matriz, de forma que mediante su acción de “cosido” entre las fisuras, se reduzca el ancho de las mismas. Las fibras que son elementos filamentosos se pueden presentar según diferentes formatos y se incorporan al hormigón en cuantía discreta y de manera uniforme para su refuerzo. Las fibras más utilizadas son, en orden decreciente, las de acero, vidrio y polipropileno.

Atendiendo a su forma las fibras de acero pueden ser rectas o conformadas y se pueden clasificar también básicamente en tres grupos según su proceso de fabricación:

- Obtenidas por trefilado en frío.
- Obtenidas por corte de láminas.
- Extraídas en caliente por rascado de bloques de acero.

Con la finalidad de mejorar las propiedades del hormigón proyectado a la flexotracción se incorporan a la mezcla muchos tipos de fibra (fibras de vidrio, de plástico y acero). Siendo la fibra de acero la que ha tenido una mayor aceptación debido a su alta resistencia a tracción ($\approx 1.200\text{MPa} = 12.236,59\text{Kg/cm}^2$), además que su incorporación a la matriz del concreto proyectado modifica la forma de rotura frágil a otra más dúctil.

Debido a que la adherencia entre las fibras y el concreto es uno de los factores que en mayor medida determina las propiedades del concreto proyectado con fibras, los fabricantes de fibras han intentado mejorar la misma modificando la forma geométrica de ellas, de esta manera para las fibras de acero se tienen las formas de la *Tabla 2.2*.

Tipos de fibras según su forma	Esquema
Recta de sección circular	
Recta de sección rectangular	
Ondulada	
Recta con extremos en forma de cono	
Recta con extremos en forma de gancho	
Rectas con extremos chatos	

Tabla 2.2. Forma de los Diferentes Tipos de Fibra

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

Las longitudes de las fibras de acero suelen oscilar entre 10 y 75 mm y el diámetro equivalente varía entre 0,1 y 1mm. Sus resistencias varían en el rango de 280 a 2800MPa ($2855,20\text{kg/cm}^2$ a $28552,05\text{kg/cm}^2$), y sus elongaciones están comprendidas entre el 0,5 y el 35%. En el mercado se presentan separadas o en grupos de 10 a 30 fibras encoladas mediante adhesivo soluble en agua, para de esta manera facilitar operaciones de manipulación y mezclado, así como para evitar la segregación en el proceso de mezcla del hormigón.

2.2.1 Características que Proporciona las Fibras de Acero al Hormigón o Concreto Proyectado

- Las fibras de acero cosen las fisuras del concreto formado por un “puente” entre los agregados gruesos, permitiendo una formación controlada de fisuras, y llevando al concreto a un comportamiento dúctil después de la fisura inicial, evitando así la fractura frágil.
- Incremento de la resistencia a la abrasión debido a una reducción de la fisuración.
- Provee una excelente resistencia a la corrosión, ya que controla la abertura de las fisuras y por consiguiente la entrada de agua.
- Mejora la resistencia a la tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Proporciona una capacidad adicional de resistencia, debido a la redistribución del momento plástico en caso de solicitaciones localizadas.
- Logra alta resiliencia (capacidad de absorción de energía en el impacto) y resistencia al impacto para solicitaciones dinámicas.
- Provee un refuerzo uniforme en las tres direcciones, convirtiéndolo en un material isotrópico y homogéneo, con igual rendimiento en total las direcciones.

- Debido a las características isotrópicas y a la repartición uniforme de fibras en toda la estructura, es ideal para cargas sin punto de aplicación definida.
- Permite ahorros de material ya que por ejemplo para pavimentos proyectados con hormigón reforzado con fibras, los espesores pueden disminuirse conservando las mismas propiedades.

Cabe decir que, en contrapartida a las ventajas que produce la adición de fibras en el material endurecido, su inclusión en la masa del hormigón fresco reduce la trabajabilidad, efecto parcialmente disminuido por los aditivos químicos. Otros aspectos a los que se les debe prestar una especial atención: son la posible alteración de las fibras durante el mezclado, la orientación final de las mismas, conseguir una adecuada compacidad y acabado de las superficies.

2.2.2 Principales aplicaciones del concreto reforzado con fibras de acero:

- Pavimentos de carreteras, aeropuertos e industriales: La resistencia a la propagación de fisuras, combinada con su resistencia al impacto y a atmósferas agresivas, ofrece solución a los problemas comunes de los pavimentos.
- Concreto proyectado: se aplica en revestimiento de túneles, estabilización de taludes en superficies irregulares, estructuras de

cáscaras delgadas y reparación de hormigones deteriorados. Se evita la malla electrosoldada con el consiguiente beneficio económico, técnico y temporal.

- Tubos para saneamiento: El refuerzo con fibras de acero proporciona a los tubos una muy buena resistencia al impacto, abrasión y cavitación.
- Prefabricación: La fibra de acero se utiliza en este caso para controlar la fisuración como armadura complementaria a la armadura principal de la estructura pretensada. Con esto se logra obtener la mayor ventaja de la industria del premodelado. Se aceleran los tiempos de construcción, puesto que la armadura adicional que se agrega a los cordones y alambres pretensados para controlar la fisuración es remplazada por el hormigón con fibras.

Existen otras aplicaciones de menor importancia a las anteriores, como por ejemplo; cajas fuertes de bancos, postes de defensa, veredas, marcos para máquinas, juntas de expansión de tableros de puentes (para mejorar la resistencia al impacto y al uso), presas, bocas de inspección de instalaciones eléctricas, recubrimiento de zanjas y tanque de almacenamiento de líquidos.

El cemento y el concreto proyectado con fibras se han ido desarrollando progresivamente debido a las prestaciones que se derivan de su uso y a su gran diversidad de aplicaciones, como se ha explicado con anterioridad. En consecuencia en la actualidad una amplia gama de fibras y productos de hormigón proyectado con fibras están comercialmente disponibles. En paralelo al desarrollo comercial del hormigón proyectado con fibras, se ha asumido un gran esfuerzo de investigación tal que permita cuantificar las

propiedades de los materiales de hormigón proyectado con fibras. El comportamiento mecánico de materiales reforzados con fibras de alta resistencia puede ser solamente descrito de forma completa mediante el uso de parámetros no convencionales, como por ejemplo mediante parámetros de tenacidad, resistencia a compresión y tracción.

2.2.3 Ensayo a Flexotracción del Concreto Proyectado con Fibras de Acero

El ensayo a flexión es de uso generalizado para la caracterización del hormigón reforzado con fibras de acero como sustituto del ensayo a tracción directa. Se usa generalmente en procedimientos normalizados para la determinación de los parámetros de resistencia tanto en vigas como en paneles de hormigón.

➤ Ensayo de viga con carga a tercios

Existen normativas específicas para el ensayo de vigas con carga a tercios, como el caso de la normativa americana ASTM C78 en la cual se establecen las dimensiones de la vigueta a ensayar, el esquema de la viga está representado en la *Figura 2.1*, el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos se evaluarán conforme a la Norma ASTM C1018 y C1609.

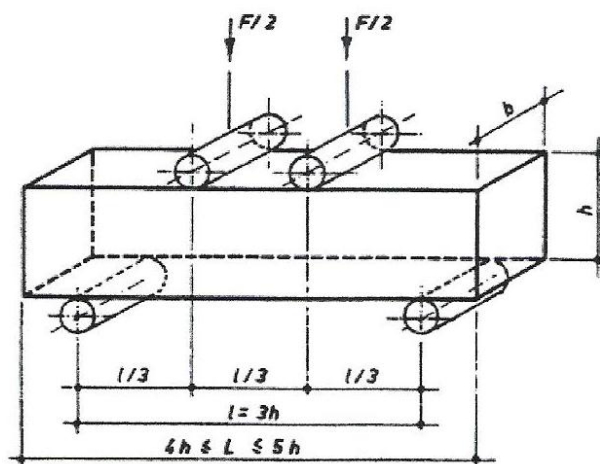


Figura 2.1. Esquema del Ensayo de Viga con Carga a Tercios Especificado en la Normativa Belga (NBN B 15-238, 1992)

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

Para realizar el ensayo conforme a la normativa americana, se tendrá una vigueta de sección transversal de longitudes b y h donde, b es la base y h es la altura, y en su sección longitudinal L es igual a tres veces b ($L=3b$), en la normativa americana ASTM C1018 y C1609, b y h tienden a ser iguales, por lo cual se trata que la sección transversal sea lo más cuadrada posible, y que los puntos donde se realiza la aplicación de las cargas corresponda a cada tercio de L .

2.2.4. Comportamiento mecánico del concreto con fibras

Cuando una pieza de hormigón armado con fibras es sometida a flexión se observan dos tipos de comportamiento en la curva de tensión-deformación:

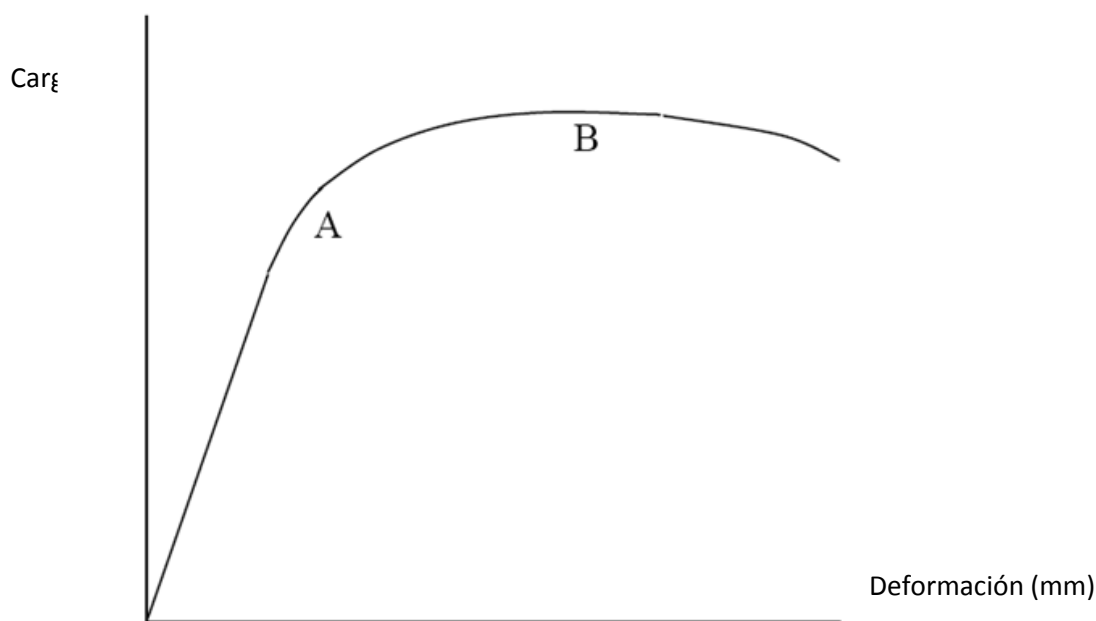


Figura 2.2. Curva Tensión—Deformación Típica del Hormigón Proyectado Con Fibras de Acero
Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

En la *Figura 2.2* se observa el punto A se puede considerar que existe proporcionalidad entre la carga aplicada y la deformación originada, aplicando incrementos sucesivos de carga. A este punto se le denomina “tensión de primera fisura” o “límite elástico”. Posteriormente aparece un nuevo punto B a partir del cual se produce una caída en la tensión. A este punto B se le denomina “tensión de rotura” o “resistencia final”, el área bajo la curva representa la tenacidad del elemento, y la curva es típica de los elementos fibroreforzados, debido a que la adición de fibras le proporciona ductilidad al elemento, muestra de ello es que al llegar al punto de rotura del concreto, éste continúa soportando carga.

En el concreto convencional, una vez fisurada la zona en tracción se produce la rotura de la pieza.

Antes de llegar a la tensión de primera fisura se puede suponer un comportamiento elástico, tanto para el hormigón como para las fibras; ya que el módulo de elasticidad de las fibras es mayor que el del concreto (10 veces en el caso de fibras de acero), el incremento de volumen de fibras aumenta el límite elástico del compuesto. No obstante, este efecto es menor que en el caso de hormigón armado convencional para el mismo volumen de acero y fibras uniformemente distribuidas (Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007).

Una vez sobrepasado el límite elástico, la curva tensión-deformación deja de ser lineal, alcanzando un máximo en el punto B. El fallo se produce generalmente por arrancamiento de las fibras, sin que éstas lleguen a alcanzar su tensión de rotura salvo en aquellos casos en que se mejora la adherencia de las fibras, con lo que algunas pueden llegar a la rotura. Después de la carga máxima, la disminución de tensiones con el incremento de las deformaciones es mucho menor en el hormigón armado con fibras que en el convencional y, por tanto, la energía absorbida antes de la rotura completa de la pieza ensayada es mucho mayor en el hormigón de fibras que en uno convencional, dependiendo esta diferencia del volumen de fibras empleado. Además, se produce un importante aumento de la tenacidad, que se pone de manifiesto en la menor pendiente de la curva tensión-deformación del hormigón de fibras respecto al convencional.

En las proximidades de la máxima carga de flexión, parte de la sección transversal de la pieza se agrieta y algunas de las fibras pueden sufrir deslizamientos parciales, dependiendo su cuantía, entre otras cosas, de que se haya mejorado por algún sistema la adherencia de las fibras. Por ello, no es posible predecir racionalmente la carga de rotura del hormigón

con fibras; sin embargo, basándose en los resultados experimentales y en las teorías de composición pueden lograrse aproximaciones empíricas.

Los factores que tienen mayor influencia en la carga máxima son el **porcentaje en volumen** de fibras y el **aspecto (esbeltez)** de las mismas.

La **ductilidad** es la propiedad que presentan algunos metales y aleaciones cuando, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin romperse permitiendo obtener alambres o hilos. A los metales que presentan esta propiedad se les denomina *dúctiles*.

Se define la **tenacidad** como la energía absorbida para producir la separación completa de la pieza. Está representada por el área de la curva de tensión-deformación. También se puede medir mediante ensayos de impacto. La adición de fibras al hormigón aumenta hasta el doble la tenacidad del hormigón. La incorporación de fibras no afecta de manera significativa a la resistencia a la compresión. Otros factores que afectan a la resistencia a flexión del hormigón reforzado con fibras son la orientación de las fibras y la adherencia de las fibras a la matriz (mucho árido grueso disminuye la adherencia)

2.2.5. Normativa Utilizada para la Evaluación del Concreto Fibroreforzado

La normativa utilizada es la indicada por La sociedad americana para la realización de pruebas y materiales (ASTM) por sus siglas en inglés, con respecto al análisis de las muestras de concreto proyectado reforzado con fibras de acero.

Las Normas Americanas ASTM C1018 y C1609, son la que indican el significado de ciertos parámetros así cómo la determinación de los mismos a través de las curvas de Cargas vs Deformación, de acuerdo a lo expuesto a continuación:

2.2.5.1. ASTM C1609

Este método de ensayo evalúa el desempeño a flexión de la fibra de hormigón armado, utilizando los parámetros de la carga-deformación de la curva obtenida del ensayo de un simple apoyo que depende del tercer punto de carga, mediante un circuito cerrado, servo-controlador sistema de evaluación.

En este método de ensayo se prevé la determinación del primer pico y pico de las cargas correspondientes, calculándolas mediante la (*Ecuación No. 2.1*), en la página 31, también se prevee el cálculo del área bajo la curva de carga-deformación en una deformación dado.

- **Curvas de Carga vs Deformación que se obtienen del Ensayo Realizado a la Viga de Concreto con Fibras de Acero**

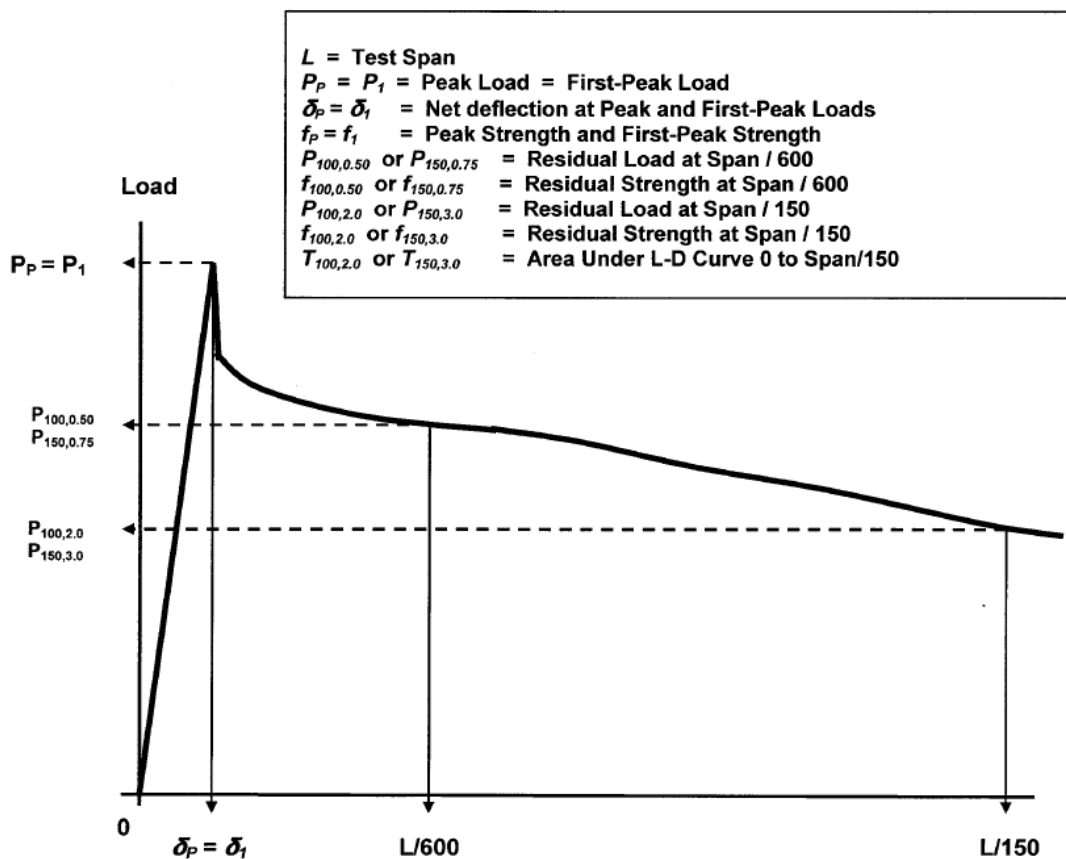


Figura No. 2.3: Curva Carga vs Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios

Fuente: Norma ASTM C1609, 2005

En la *Figura 2.3* se observa que el primer pico de carga corresponde al pico máximo de carga, por tanto el valor de P_1 es igual P_P y ambos ocurren a la misma deformación.

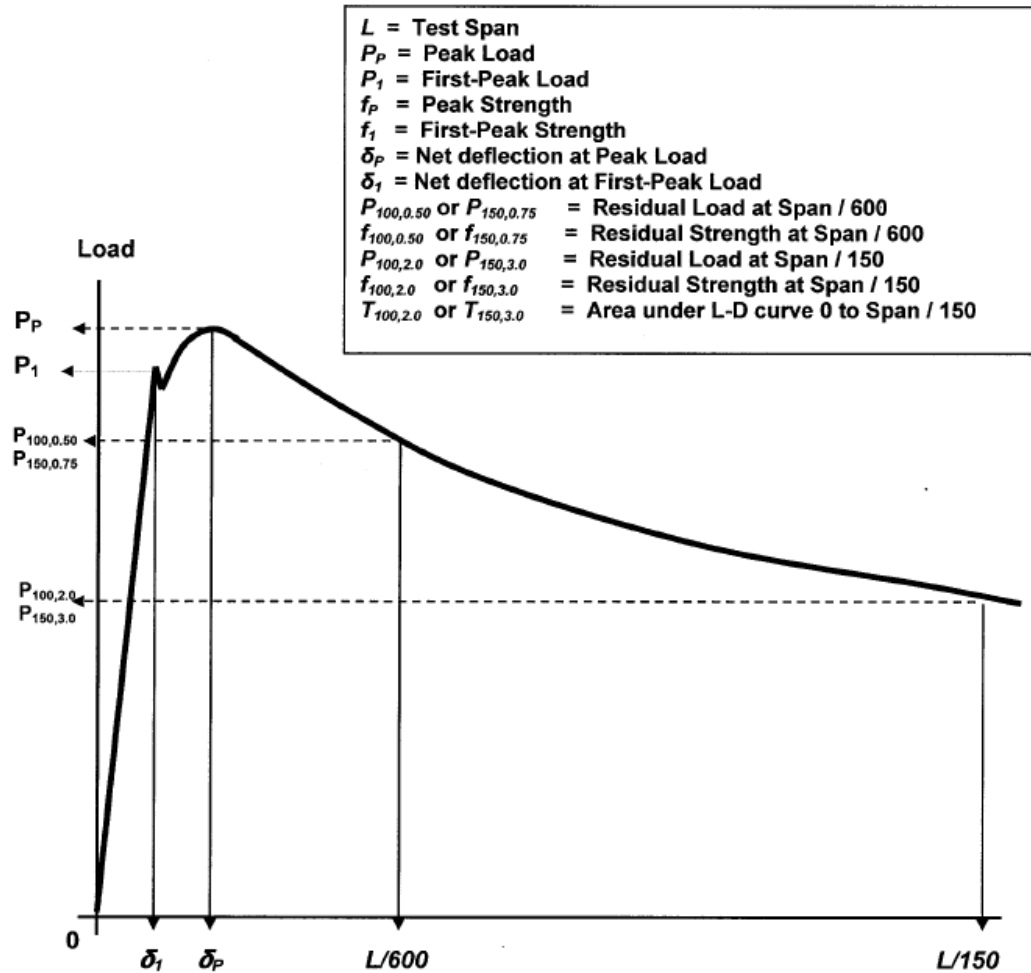


Figura No. 2.4: Curva Carga vs Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios

Fuente: Norma ASTM C1609, 2005

En la *Figura 2.4*, se observa que los valores de P_1 y P_p son diferentes, por tanto ocurren en deformaciones distintas.

Las *Figuras 2.3 y 2.4* representan los dos posibles casos de ocurrencia, lo cual está determinado por la grafica que arroja el ensayo realizado, de acuerdo a la grafica obtenida se procederá a extraer los parámetros requeridos.

➤ **Parámetros Extraídos de las Gráficas de Carga-Deformación, de acuerdo a lo establecido por la norma mencionada.**

Longitud libre entre los apoyos (dimensión de la viga a ensayar)

Carga máxima, ocurrido en

Primer pico de carga, ocurrido en

Pico de fuerza, ocurrido en

Primer pico de fuerza, ocurrido en

Deformación neta a la carga máxima

Primera desviación pico de carga

= Carga residual en la deformación L/600

= Resistencia residual en la deformación L/600

= Carga Residual en la deformación L/150

= Resistencia residual en la deformación L/150

= Área bajo la curva Carga-Deformación desde el cero corregido hasta la deformación L/150

Para efectuar los cálculos del módulo de rotura o primer pico de fuerza (ocurrido en), así como las resistencias residuales (y), y el pico de fuerza , se hará uso de la siguiente fórmula:

(Ecuación 2.1)

Donde:

Esfuerzo en,
La Carga en,
La longitud del ensayo,
Ancho promedio de la vigueta
Altura promedio de la vigueta

2.2.5.2. ASTM C1018

Este método de ensayo evalúa el rendimiento a flexión, y dureza de los parámetros derivados de la fibra de hormigón armado en términos de zonas, que se encuentran bajo la curva de carga-deformación obtenida mediante el ensayo de una viga simplemente apoyada en virtud del punto carga a tercios.

Este método de prueba prevee la determinación de un número de coeficientes de resistencia llamados índices, los cuales identifican el patrón de comportamiento de los materiales seleccionados hasta la deformación correspondiente.

Estos índices se determinan dividiendo el área bajo la curva de carga-deformación hasta un determinado desvío, por la zona hasta la primera desviación en la que el crack se produce (el crack corresponde al punto donde falla el elemento, y por tanto el comportamiento pasa de ser elástico a ser plástico), El factor de fuerza residual se deriva directamente de la dureza de los índices, y caracterizan el nivel de fuerza retenido después del crack.

Para determinar los parámetros que indica la normativa ASTM C1018 y la normativa ASTM C1609, es necesario hallar el cero corregido ($0'$) de cada gráfica, éste se obtiene pasando una recta por el punto A (first crack) o P_1 , ésta recta se superpone sobre el tramo elástico de la curva carga-deformación hasta cortar el eje X, la intersección de ambos será el cero corregido ($0'$), y a partir de él se medirán las deformaciones que ambas normativas indiquen.

➤ **Curvas de Carga vs Deformación que se obtienen del Ensayo Realizado a la Viga de Concreto con Fibras de Acero**

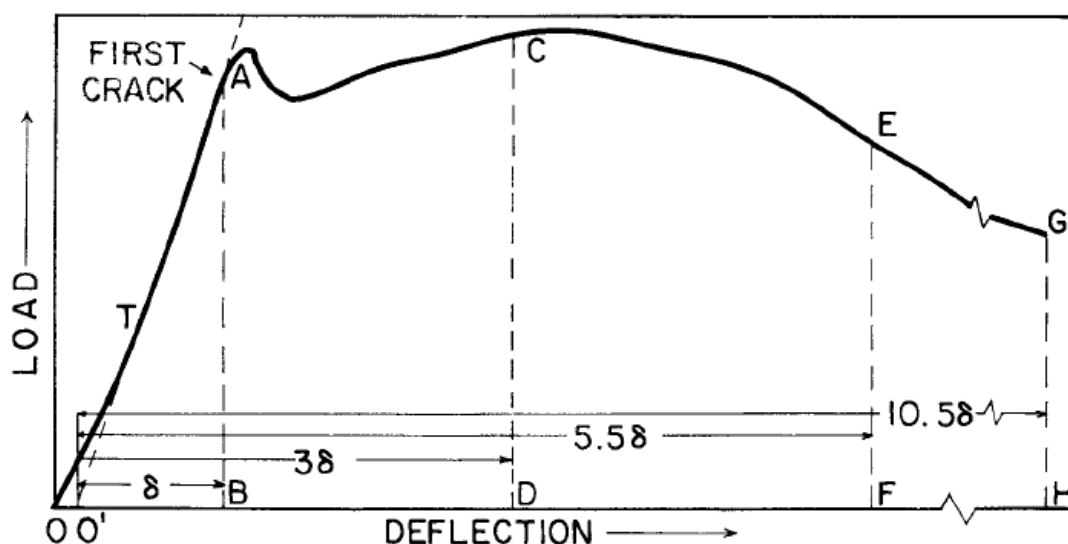


Figura 2.5: Curva Carga vs Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios, Cóncavo al alza de la primera grieta
Fuente: Norma ASTM C1018, 1997

En la *Figura 2.5* se observan los puntos notables de la gráfica carga-deformación, donde el punto A corresponde a la primera grieta (first crack), en el cual este punto A coincide con P_1 (primer pico de carga según norma

ASTM C1609), por tanto ambos ocurren en la misma deformación, de acuerdo al ensayo de carga deformación puede obtenerse curvas que a lo largo de su comportamiento elástico describan levemente cierta concavidad o convexidad, en este caso la curva es cóncava.

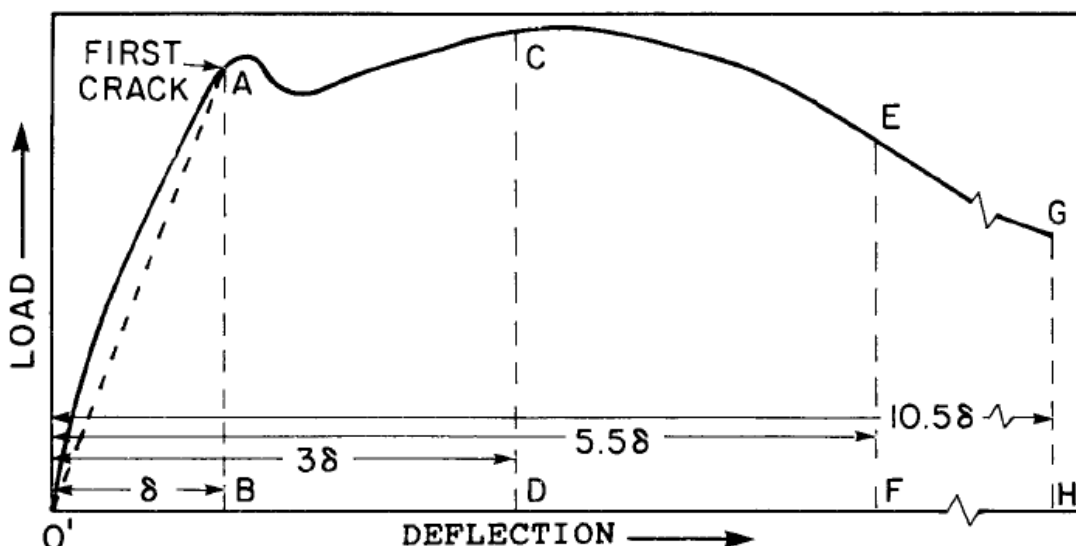


Figura No. 2.6: Curva Carga vs Deformación del Ensayo a Flexión de una Viga con Carga a Tercios, Convexo al alza de la primera grieta
Fuente: Norma ASTM C1018, 1997

La Figura 2.6, corresponde a la curva de carga-deformación, donde se observan los mismos puntos notables que se expresan en la Figura 2.5 los cuales son determinados por las deformaciones que indica esta normativa, todas las deformaciones se miden a partir del cero corregido (O') y todos estos puntos notables coinciden con la grafica anterior, con la única diferencia que en este caso la curva tiende a ser convexa hasta la primera grieta o (first crack), ambas curvas son las que típicamente pueden obtenerse del ensayo a flexión de las vigas con carga a tercios.

- **Parámetros Extraídos de las Gráficas de Carga-Deformación, de acuerdo a lo establecido por la norma mencionada.**

Deformación en la que se produce la primera grieta, medida a partir del cero corregido

3 veces la deformación hasta la primera grieta

5.5 veces la deformación hasta la primera grieta

10.5 veces la deformación hasta la primera grieta

= Índice de tenacidad hasta

= Índice de tenacidad hasta

= Índice de tenacidad hasta

= Factor de resistencia o esfuerzo residual obtenido hasta

= Factor de resistencia o esfuerzo residual obtenido hasta

Los cálculos de los índices se realizan una vez obtenidas las gráficas de carga-deformación, y cuando se haya representado los puntos que definidos por la Norma, los cuales dependen de las deformaciones antes mencionadas, a continuación se representan las fórmulas utilizadas para llevar a cabo dichos cálculos.

(Ecuación 2.2)

(Ecuación 2.3)

(Ecuación 2.4)

(Ecuación 2.5)

(Ecuación 2.6)

2.2.6. Descripción Técnica de las Fibras de Acero Utilizadas

Las fibras son alambres de acero trefilado de bajo contenido de carbono para el refuerzo del hormigón, tienen forma recta con extremos de ganchos, tal como se observa en la *Tabla 2.1* de este capítulo. Las fibras a ser usadas corresponden a los siguientes fabricantes:

➤ Fabricante Dramix

La fibra utilizada es el modelo Dramix RC-65/35-BN, el cual posee las siguientes características:

- Largo
- Diámetro
- Relación de esbeltez L/D

Relación entre el largo y el diámetro

- Cantidad de elemento por

➤ Fabricante Maccaferri

La fibra utilizada es el modelo Wirand FS7, el cual posee las siguientes características:

- Largo
 - Diámetro
 - Relación de esbeltez L/D
- Relación entre el largo y el diámetro
- Cantidad de elemento por

En ambos casos, la tensión de ruptura por tracción del alambre es aproximadamente mayor a 1200MPa (12.236,59Kgf/cm²), y la elongación de la ruptura es menor al 4% de su longitud.

En el concreto proyectado se utilizan por lo general fibras de este tipo, ya que el tamaño de las mismas dependen del tamaño de los equipos de proyección, para el Túnel Minero se utilizan mangueras de 3" de diámetro, las cuales poseen un diámetro interior de 2,5" lo cual equivale a 6,35cm, este diámetro limita las dimensiones del alambre ya que éstas no deben exceder el 70% del diámetro interno de la manguera de bombeo, por tanto las dimensiones máximas del alambre que pueden ser transportados a través de la manguera de proyección, corresponden a 4,45cm = 44,5mm.

CAPÍTULO III

MÉTODO

MÉTODO

El proceso de evaluación del concreto proyectado con fibras de acero busca hallar los parámetros de un concreto de este tipo. La investigación consiste en determinar la cantidad de fibra que es más favorable en la mezcla, discriminando la evaluación por tipo de fabricante (Dramix y Maccaferri), también se evaluará el aporte de la fibra, en cuanto a ductilidad en la mezcla de concreto. La investigación se realiza de acuerdo a las normas americanas ASTM C1609 y ASTM C1018. A continuación se enumerarán las diferentes etapas que componen la elaboración de este trabajo de investigación:

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo experimental, porque es producto de la realización de los ensayos hechos al concreto proyectado con fibras de acero por la Constructora Norberto Odebrecht, S.A. y el análisis es de tipo comparativo ya que se pretende contrastar los valores obtenidos en dichos ensayos, y posterior a ello determinar la cantidad de fibra óptima a sugerir dentro de la mezcla suministrada indicando el fabricante.

3.2 Fuentes y Técnicas de Recolección de la Información

Para la obtención de los datos, específicamente los valores (carga y deformación) de los ensayos aplicados al concreto proyectado con fibras y sin fibras, fueron facilitados por la Constructora Norberto Odebrecht. También se realizó consulta bibliográfica de textos, revisión documental de normas en donde se obtuvo información referente a procesos, métodos, directrices o

lineamientos que deben ser aplicados para la evaluación del concreto proyectado con apego estricto a ellas. Como técnicas de recolección de información se tienen: observación no estructurada y entrevistas informales; como instrumentos de recolección de información se hizo uso de cámaras fotográficas.

3.3 Etapas de investigación

La investigación comprendió cinco etapas: la primera etapa abarcó la elaboración de las bandejas de concreto, donde se asistió en calidad de observador en la elaboración de las bandejas de concreto con fibras y a su posterior ensayo a los 28 días luego de alcanzar la resistencia exigida; la segunda etapa fue de tipo documental donde se recopiló información teórica sobre el uso y evaluación de la fibra de acero en el concreto proyectado, se revisaron las Normas Americanas ASTM C1609 y ASTM C1018. La tercera etapa consistió en el procesamiento y desarrollo de los parámetros del concreto proyectado conforme a la Norma ASTM C1609 y C1018 los cuales indican el desempeño y rendimiento a flexión del hormigón armado con fibras; la cuarta etapa consistió en la contrastación de los parámetros obtenidos con lo requerido a nivel de proyecto. La quinta etapa consistió en recomendar la dosificación óptima para ser utilizada en el Revestimiento Primario del Túnel Minero de la Rinconada.

3.3.1 Documental

Consistió en la revisión de la Norma ASTM C1609 y ASTM C1018 con el fin de conocer las especificaciones y pautas a seguir para la determinación de parámetros del concreto fibroreforzado. Se recopiló los valores carga y deformación obtenidos del ensayo a flexotracción de las viguetas de concreto

con fibras y sin fibras en formato digital, el cual fue suministrado por los Encargados del Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht.

3.3.2 Asistencia a la Elaboración y Ensayo del Concreto con Fibras de Acero

Aún cuando esto no forma parte de los objetivos del trabajo especial de grado, se decidió participar en calidad de observador, en el proceso de elaboración de las muestras que serían posteriormente ensayadas, así como también se tuvo acceso a la elaboración de cilindros de concreto vaciado y a la extracción de núcleos cilíndricos en bandejas de concreto proyectado.

3.3.3 Procesamiento y Cálculo de Parámetros a evaluar

3.3.3.1 Procesamiento de los datos

Se realizó de acuerdo a la siguiente metodología (se indica la participación como observadores)

1. Se observó la elaboración de la mezcla de concreto y su disposición en las bandejas de acero, por medio de proyección. Al día siguiente las muestras fueron colocadas en una piscina, para que se realizara el curado de las mismas. Las imágenes pueden observarse en las *Fotos 1, 2, 3 y 4* en las pagina 111 y 112, de los Anexos
2. Se observó la elaboración de cilindros estándar de concreto vaciados, así como también la extracción de núcleos de concreto en las bandejas proyectadas, así como corte y reperfilamiento de las bandejas para la obtención de viguetas.

3. Las viguetas cortadas tenían en promedio dimensiones de alto (h) y base (b) igual a 150mm y longitud (L) de 450mm más 50mm que se dejan para que al ser ensayada no se produzca falla de borde, lo cual da un total de 500mm aproximadamente en su sección longitudinal, observar *Foto 5* de la página 113 de los Anexos.
4. El ensayo se realizó en una prensa universal, marca MFL SYSTEME, con un sistema electrónico para la adquisición de datos, registrando los valores de carga en kilo Newton (KN) y desplazamiento vertical en milímetros (mm). El ensayo fue monitoreado en una pantalla, para sobrepasar la deflexión L/150 pautada en la norma ASTM C78, la cual es la que indica los pasos a realizarse para llevar a cabo este tipo de ensayo
5. Se observaron los ensayos realizados a las viguetas de concreto con fibras y sin fibras. El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Fundatec, ubicado en el kilómetro 8 de la carretera Panamericana, a los 28 días de haberse hecho las muestras, observar *Foto 6* de la página 113 de los Anexos.
6. Los ensayos suministrados por Odebrecht fueron los siguientes:
 - Dosificación de concreto propuesta por Odebrecht a Metro de Caracas, la cual cumple con la resistencia a la compresión exigida de 280kg/cm^2 , este valor es constante en cada vigueta por tanto la única variable que se deriva de este estudio son los parámetros aportados por las fibra de acero.
 - 4 Viguetas de Concreto con 30Kg/m^3 de Fibra Dramix
 - 4 Viguetas de Concreto con 35Kg/m^3 de Fibra Dramix

- 4 Viguetas de Concreto con 40Kg/m^3 de Fibra Dramix
- 5 Viguetas de Concreto con 35Kg/m^3 de Fibra Maccaferri
- 7 Viguetas de Concreto con 40Kg/m^3 de Fibra Maccaferri
- 3 Viguetas de Concreto sin Fibras de Acero

La Compañía Metro de Caracas, determinó estadísticamente que se debían hacerse un mínimo de 4 viguetas con fibras y 3 viguetas sin fibras, para obtener un porcentaje de exactitud adecuado. La numeración de las viguetas Dramix se hicieron de manera aleatoria, a diferencia de las viguetas Maccaferri en la cual la numeración fue continua, en este caso se tomó la mayor cantidad de muestras previendo que algunas se dañaran al momento de ensayarlas, tal como pasó con la vigueta No. 5 de 35Kg/m^3 de Fibra Maccaferri.

7. La información digital fue facilitada por los encargados del Departamento Tecnológico de Odebrecht en formato Microsoft Excel, y los valores de carga y deformación estaban las unidades que registró el sistema electrónico de Fundatec, los cuales son KN y mm respectivamente. El valor de carga fue convertido a kilogramos (Kg) multiplicando por mil (para llevar el valor a Newton donde $1\text{N}=\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$) y dividiendo a su vez por la gravedad (fijada en 9.81m/s^2), al aplicar esta conversión se obtuvo el valor en kilogramos de masa, lo cual es igual a un kilogramo fuerza en el sistema técnico, el valor de la deformación es multiplicado por mil para que pueda apreciarse la grafica de carga vs deformación.
8. El documento Excel modificado, se guardó en formato csv (delimitado por comas) para que cada punto fuese expresado en coordenadas "X" y "Y", luego es llevó a formato Script, para que el programa AutoCAD 2008

podiera reconocerlo y de igual modo graficar cada punto como una polilínea.

9. Una vez generada la Curva de carga vs Deformación de cada ensayo realizado, se procedió a ubicar los puntos notables de cada grafica, los cuales corresponden a los parámetros que la norma ASTM C1609 y C1018 indican que deben ser determinados.

3.3.3.2 Cálculo de los Datos

A partir de los datos de los ensayos realizados a las viguetas con Fibra Dramix (30, 35 y 40 Kg de fibra por m^3 de concreto) y viguetas con Fibra Maccaferri (35 y 40 Kg de fibra por m^3 de concreto), conforme a la Norma ASTM C1609 y ASTM C1018 se elaboró la Curva de Carga vs Deformación de cada vigueta, de los cuales se obtuvieron los siguientes parámetros:

- **ASTM C1609**

- ✓ P_1 = Primer pico de carga ocurrido en la deformación $\delta_1 = \bar{\delta}$
- ✓ P_p = Pico máximo de carga ocurrido en la deformación $\bar{\delta}_p$
- ✓ $P_{150,0.75}$ = Carga residual ocurrida en la deformación $L/600$ donde L es la longitud libre entre los apoyos.
- ✓ $P_{150,0.30}$ = Carga residual ocurrida en la deformación $L/150$, donde L es la longitud libre entre los apoyos.
- ✓ $T_{150,2.0}$ o $T_{150,0.30}$ = Área bajo la curva de carga vs deformación desde el cero corregido $0'$ hasta la deformación $L/150$, donde L es la longitud libre entre los apoyos.

- **ASTM C1018**

- ✓ A_1 = Área bajo la curva carga vs deformación, hasta la deformación $\delta=\delta_1$
- ✓ A_2 = Área bajo la curva carga vs deformación, hasta la deformación 3δ
- ✓ A_3 = Área bajo la curva carga vs deformación, hasta la deformación 5.5δ
- ✓ A_4 = Área bajo la curva carga vs deformación, hasta la deformación 10.5δ

También se graficaron las Curvas de Carga vs Deformación de tres viguetas sin fibras de acero.

Los parámetros obtenidos conforme a las normas utilizadas, fueron procesados de acuerdo a las fórmulas expresadas en la página de este trabajo de investigación.

3.3.4 Contrastación de los Resultados Obtenidos

Luego de procesar los datos y obtener los resultados que se derivan da cada ensayo, se llevó a cabo un estudio donde se expresa el conjunto de valores obtenidos de acuerdo a cada gráfica realizada, indicando a su vez los valores requeridos a nivel de proyecto, luego se hizo un resumen comparativo de los ensayos para definir cuál o cuáles de ellos igualan o superan los valores requeridos.

3.3.5 Recomendar la Dosificación Óptima

Se presenta la propuesta óptima a ser sugerida en el Revestimiento Primario del Túnel Minero de La Rinconada, en caso de que existiese más de un ensayo que cumpla con lo requerido a nivel de proyecto, se procederá a seleccionar la opción económicamente más conveniente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El Departamento de Ingeniería del Proyecto Línea III del Metro de Caracas, determinó por medio de la Contratista y Consultora de Proyectos Figueredo Ferraz, que el concreto a usarse en el Túnel Minero de La Rinconada debía tener una resistencia a la compresión de 280Kg/cm^2 a los 28 días, y un espesor de 27cm en la capa de Revestimiento Primario, debido a que con ambas especificaciones de diseño garantizan que dicho revestimiento, soporte las deformaciones del macizo, ocasionada por la descompresión de la roca así como también por los esfuerzos a compresión, flexión y esfuerzo de corte resultante de los empujes del suelo y también producto de las cargas variables. (*Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007*)

El Túnel se construye de acuerdo al Nuevo Método Austriaco en Túneles (NATM), el cual establece que una vez excavado y colocado el soporte metálico (costillas o celosías), se debe proyectar el concreto para evitar que se produzcan derrumbes. (*Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007*)

4.1. DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADA EN EL TÚNEL MINERO

En la *Tabla 4.1* se detallan los componentes del concreto, el cual fue diseñado por la empresa Odebrecht, y aprobado por la Compañía Metro de Caracas C.A.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Portland Tipo 1 SC 42.5Kg	Kg/m ³	415
Agua	L/m ³	190
Arena (pasante 3/8")	Kg/m ³	1650
Microsílice	Kg/m ³	35
Accelerador Meyco SA 160	L/m ³	8
Rheobuild 1000	L/m ³	3.6
Polyheed	L/m ³	2.1

Tabla 4.1: Dosificación de Concreto

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

Las funciones de los aditivos que se incorporaron al concreto, se indicaron en las páginas 16 y 17, correspondientes al Capítulo II.

La mezcla de concreto más la fibra de acero fue proyectada en bandejas metálicas, a las cuales se le extrajeron núcleos por medio de core-drill de aproximadamente 7cm de diámetro por 14cm de alto (estas dimensiones son estandarizadas), y posteriormente fueron ensayadas a compresión simple, a diversas edades, arrojando los siguientes resultados:

Muestra N°		Fecha _{Toma}	Fecha _{Ensayo}	Edad	D	H	Peso	Densidad	Carga	Rc	L/D	Factor de	Rc corr	%	Rc PROMEDIO	Observación	
					(Cm)	(Cm)	(gr)	(gr/cm3)	(kg)	(Kg/cm²)		correc	(Kg/cm²)	Resistencia	(Kg/cm²)		
1	1	27-ago	30-ago	3	D	6.9	10.2	877.0	2.299	6,000	160	1.48	0.85	188	67	199	Prueba de fibra maccaferri 35kg/m³ de concreto
	2				D	6.9	10.2	869.5	2.280	6,500	174	1.48	0.85	205	73		
	3				D	6.9	10.1	869.5	2.302	6,500	174	1.48	0.85	205	73		
	4		03-sep	7	D	6.9	10	870.3	2.327	8,000	214	1.48	0.85	252	90	260	
	5				D	6.9	10.1	866.9	2.295	8,500	227	1.48	0.85	267	95		
	6				D	6.9	9.9	873.6	2.360	8,300	222	1.48	0.85	261	93		
	7		10-sep	14	D	6.9	10.2	870.1	2.281	10,500	281	1.48	0.85	331	118	324	
	8				D	6.9	10.2	869.2	2.279	10,000	267	1.48	0.85	314	112		
	9				D	6.9	10.2	872.4	2.287	10,400	278	1.48	0.85	327	117		
	10		24-sep	28	D	6.9	9.9	866.4	2.340	15,000	401	1.43	0.85	472	168	471	
	11				D	6.9	9.9	865.9	2.339	14,800	396	1.43	0.85	466	166		
	12				D	6.9	9.9	870.1	2.350	15,100	404	1.43	0.85	475	170		
2	1	31-ago	03-sep	3	D	6.8	13.6	1,147.1	2.322	4,000	110	2.00	0.85	129	46	129	Prueba de fibra maccaferri 40kg/m³ de concreto
	2				D	6.8	13.6	1,152.1	2.333	4,900	135	2.00	0.85	159	57		
	3				D	6.8	13.6	1,145.5	2.319	3,000	83	2.00	0.85	98	35		
	4		07-sep	7	D	6.8	13.6	1,152.2	2.333	11,500	317	2.00	0.85	373	133	335	
	5				D	6.8	13.6	1,143.3	2.315	9,700	267	2.00	0.85	314	112		
	6				D	6.8	13.6	1,152.1	2.333	9,800	270	2.00	0.85	318	113		
	7		14-sep	14	D	6.8	13.6	1,145.1	2.318	11,500	317	2.00	0.85	373	133	363	
	8				D	6.8	13.6	1,150.4	2.329	11,600	319	2.00	0.85	375	134		
	9				D	6.8	13.6	1,151.9	2.332	10,500	289	2.00	0.85	340	121		
	10		28-sep	28	D	6.8	13.6	1,153.1	2.335	10,900	300	2.00	0.85	353	126	373	
	11				D	6.8	13.6	1,152.0	2.332	11,470	316	2.00	0.85	372	133		
	12				D	6.8	13.6	1,154.8	2.338	12,200	336	2.00	0.85	395	141		

Tabla 4.2: Ensayo de Resistencia a Compresión Simple, en Núcleos con Fibra Maccaferri

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

Muestra N°		Fecha Toma	Fecha Ensayo	Edad	D	H	Peso	Densidad	Carga	Rc	L/D	Factor de	Rc corr	%	Rc PROMEDIO	Observación	
					(Cm)	(Cm)	(gr)	(gr/cm3)	(kg)	(Kg/cm²)		correc	(Kg/cm²)	Resistencia	(Kg/cm²)		
1	1	06-jun	09-jun	3	D	7	14	1,219.5	2,263	7,800	203	2.00	0.85	239	85	234	Prueba de fibra Dramix 35kg/m³ de concreto
	D				7	14	1,207.0	2,240	7,500	195	2.00	0.85	229	82			
	3		13-jun	7	D	7	14	1,209.2	2,244	10,200	265	2.00	0.85	312	111	301	
	4				D	7	14	1,212.6	2,251	9,500	247	2.00	0.85	291	104		
	6		04-jul	28	D	7	14	1,208.9	2,244	11,400	296	2.00	0.85	348	124	342	
10	D	7			14	1,206.1	2,239	11,000	286	2.00	0.85	336	120				
2	12	09-jun	12-jun	3	D	7	14	1,213.8	2,253	7,000	182	2.00	0.85	214	76	214	
	3				D	7	14	1,198.3	2,224	7,000	182	2.00	0.85	214	76		
	4		16-jun	7	D	7	14	1,214.2	2,254	9,200	239	2.00	0.85	281	100	279	
	6				D	7	14	1,207.9	2,242	9,100	236	2.00	0.85	278	99		
	10		07-jul	28	D	7	14	1,207.0	2,240	14,600	379	2.00	0.85	446	159	442	
12	D	7			14	1,208.0	2,242	14,300	372	2.00	0.85	438	156				
3	1	13-jun	16-jun	3	D	7	14	1,240.4	2,302	8,400	218	2.00	0.85	256	92	255	
	3				D	7	14	1,233.3	2,289	8,300	216	2.00	0.85	254	91		
	4		20-jun	7	D	7	14	1,238.9	2,299	10,600	275	2.00	0.85	324	116	338	
	6				D	7	14	1,257.8	2,335	11,500	299	2.00	0.85	352	126		
	10		11-jul	28	D	7	14	1,240.1	2,302	14,500	377	2.00	0.85	444	158	429	
12	D	7			14	1,255.7	2,331	13,600	353	2.00	0.85	415	148				
4	1	18-jun	21-jun	3	D	7	14	1,192.1	2,213	5,300	138	2.00	0.85	162	58	160	
	3				D	7	14	1,158.2	2,150	5,150	134	2.00	0.85	158	56		
	4		25-jun	7	D	7	14	1,153.0	2,140	7,500	195	2.00	0.85	229	82	237	
	6				D	7	14	1,186.3	2,202	8,000	208	2.00	0.85	245	87		
	10		16-jul	28	D	7	14	1,193.2	2,215	10,800	281	2.00	0.85	331	118	323	
12	D	7			14	1,180.4	2,191	10,300	268	2.00	0.85	315	113				
5	1	21-jun	24-jun	3	D	7	14	1,188.9	2,207	2,600	68	2.00	0.85	80	29	86	
	3				D	7	14	1,189.4	2,208	3,000	78	2.00	0.85	92	33		
	4		28-jun	7	D	7	14	1,195.0	2,218	3,500	91	2.00	0.85	107	38	112	
	6				D	7	14	1,191.2	2,211	3,800	99	2.00	0.85	116	42		
	10		19-jul	28	D	7	14	1,189.2	2,207	10,500	273	2.00	0.85	321	115	329	
12	D	7			14	1,185.4	2,200	11,000	286	2.00	0.85	336	120				

Tabla 4.3: Ensayo de Resistencia a Compresión Simple, en Núcleos con Fibra Dramix

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

De acuerdo a las *tablas 4.2 y 4.3* se observa que la resistencia a compresión del concreto con fibras de acero supera ampliamente el valor requerido de 280kg/cm^2 a los 28 días, de acuerdo a los cálculos realizados por el proyectista Figueredo Ferraz.

También se realizaron ensayos a compresión simple de cilindros estandarizados de concreto proyectado con fibras, los resultados se expresan en la *Tabla 4.4* siguiente:

Muestra N°	Fecha Toma	Fecha Ensayo	Edad		D	H	Peso	Carga	Rc	Promedio Rc	Observación
					(Cm)	(Cm)	(kg)	(kg)	(Kg/cm ²)		
1	A	27-ago	03-sep	7	D	15	30	12,420	61,075	346	Fibra Maccaferri 35 Kg/m ³ de Concreto
	B		03-sep	7	D	15	30	12,370	64,503	365	
	C		03-sep	7	D	15	30	12,210	66,001	374	
	D		24-sep	28	D	15	30	12,460	83,436	472	
	E		24-sep	28	D	15	30	12,370	85,098	482	
	F		24-sep	28	D	15	30	12,430	81,833	463	
2	A	31-ago	07-sep	7	D	15	30	12,040	51,998	294	Fibra Maccaferri 40 Kg/m ³ de Concreto
	B		07-sep	7	D	15	30	11,990	51,940	294	
	C		07-sep	7	D	15	30	12,060	51,644	292	
	D		28-sep	28	D	15	30	12,200	78,510	444	
	E		28-sep	28	D	15	30	12,220	83,740	474	
	F		28-sep	28	D	15	30	12,230	85,924	486	

Tabla 4.4: Ensayo de Resistencia a Compresión Simple, de Cilindros Estandarizados de Concreto con Fibra Maccaferri

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

Se observa que los valores de resistencia obtenidos a los 28 días superan el valor requerido en obra de 280kg/cm^2 , lo cual indica que el concreto en estudio cumple con lo exigido por el proyectista o calculista Figueredo Ferraz.

4.2. VALORES REQUERIDOS POR EL CÁLCULISTA

Los valores fueron suministrados por el Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, y fueron los que permitieron establecer comparación con los resultados obtenidos en los ensayos de flexotracción realizados a las viguetas con fibra Dramix y Fibra Maccaferri. Sólo se suministraron los valores correspondientes a la Norma ASTM C1018 debido a que existen algunas indefiniciones a nivel de proyecto, las cuales han devenido en la ausencia de valores concretos que permitan la comparación de los resultados obtenidos conforme a la Normativa ASTM C1609.

Los Valores suministrados se indican a continuación:

ASTM C1018	
I_5	4.50
I_{10}	9.00
I_{20}	18.00
$R_{5,10}$	4.50
$R_{10,20}$	9.00

Tabla 4.5: Valores de Tenacidad y Esfuerzo Residual Requeridos a Nivel de Proyecto

Fuente: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007

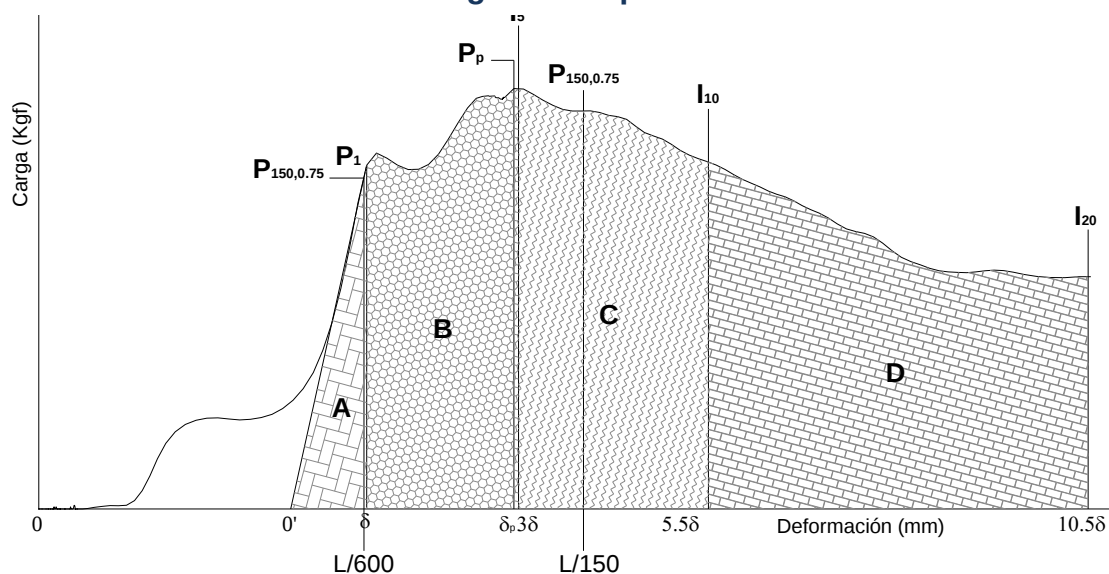
Los valores establecidos por el proyectista corresponden al 90% del valor de un material elastoplástico ideal.

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VIGUETAS ENSAYADAS CON FIBRA DRAMIX Y MACCAFERRI

A continuación se expresan las curvas de Carga vs Deformación, obtenidas para cada ensayo realizado, en la cual se colocan gráficamente los parámetros que fueron determinados de acuerdo a las normativas utilizadas (ASTM C1609 y C1018), del mismo modo se coloca un cuadro resumen, en el cual se reflejan los valores correspondientes a cada parámetro calculado, así como también las dimensiones propias de cada vigueta.

4.3.1. Resultados con 30 kg/m³ de Fibra Dramix

Gráfico 4.1: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 1 del Fabricante Dramix con 30Kg de fibra por m³ de Concreto



VIGUETA No. 1 CON 30 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	3,515.80
b	151	A ₁ (A)	1,359.29	δ ₁ (mm)	0.778
h	143	A ₂ (A+B)	7,317.82	P _p (Kgf)	4,301.02
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	15,009.02	δ _p (mm)	2.286
δ=δ ₁	0.778	A ₄ (A+B+C+D)	25,745.29	P _{150,0.75} (Kgf)	3,386.34
3δ	2.334	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	4,071.71
5.5δ	4.279	I ₅	5.38	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	10,017.38
10.5δ	8.169	I ₁₀	11.04	f ₁ (Kgf/cm ²)	51.24
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	18.94	f _p (Kgf/cm ²)	62.68
L/600	0.750	R _{5,10}	5.66	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	49.35
L/150	3.000	R _{10,20}	7.90	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	59.34

Tabla 4.6: Resumen de Vigueta No. 1 con 30kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico presentado se observan los puntos notables de la curva carga vs deformación, obtenida del ensayo a flexotracción de una viga simplemente apoyada con carga a tercios, estos puntos significativos son definidos en la página No. 28 y 32 de este trabajo Especial de Grado, tales puntos fueron determinados por medio del programa Autocad, el cual posee herramientas que permiten determinar de manera precisa los parámetros que las normas establecen deben ser calculados, tales como se muestran es los siguientes cálculos tipo:

(Ecuación No. 1)

Longitud libre entre los apoyos

Carga máxima, ocurrido en

Longitud medida desde 0' en la cual el elemento alcanza la carga máxima

Pico de fuerza, ocurrido en

Primer pico de carga, ocurrido en

Deformación medida desde 0' en la cual se origina la primera grieta

Primer pico de fuerza, ocurrido en

Carga residual en la deformación L/600, donde

Resistencia residual en la deformación L/600

Carga Residual en la deformación L/150, donde

Resistencia residual en la deformación L/150

Área bajo la curva Carga-Deformación desde el cero corregido hasta la deformación L/150

(Ecuación 2.2)

(Ecuación 2.3)

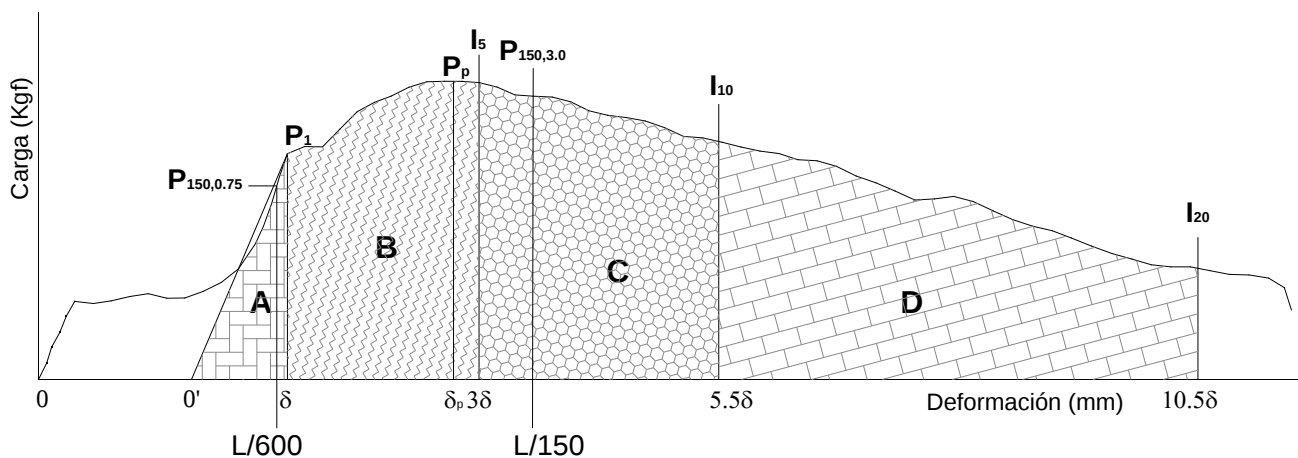
(Ecuación 2.4)

(Ecuación 2.5)

(Ecuación 2.6)

Estos parámetros fueron calculados en las gráficas siguientes, las cuales poseen un comportamiento bastante similar, ya que la adición de fibra hace que el elemento siga soportando carga, hasta que falle totalmente

Gráfico 4.2: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 5 del Fabricante Dramix con 30Kg de fibra por m³ de Concreto

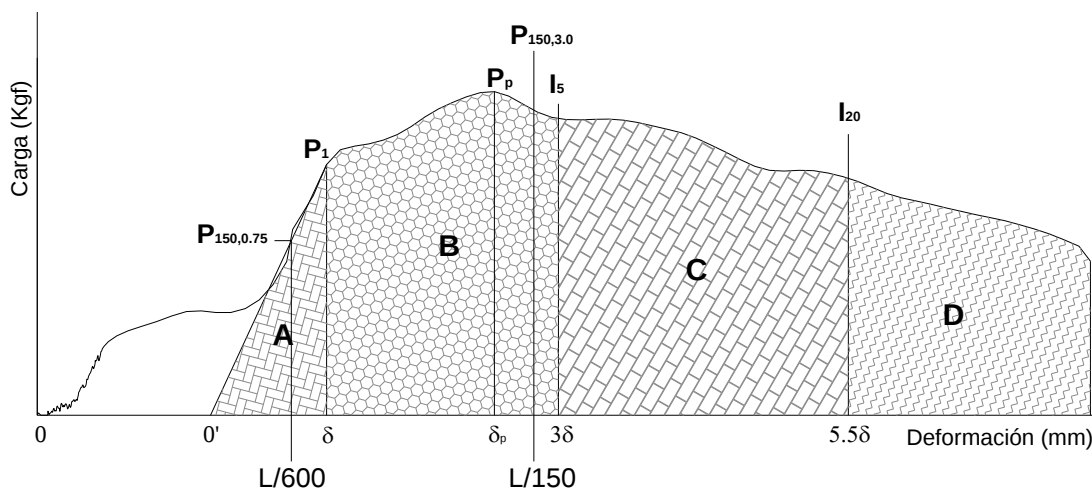


VIGUETA No. 5 CON 30 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	1,990.42
b	150	A ₁ (A)	804.37	δ ₁ (mm)	0.843
h	133	A ₂ (A+B)	4,845.82	P _p (Kgf)	2,624.36
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	9,815.45	δ _p (mm)	2.304
δ=δ ₁	0.843	A ₄ (A+B+C+D)	16,282.57	P _{150,0.75} (Kgf)	1,706.91
3δ	2.529	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,502.91
5.5δ	4.637	I ₅	6.02	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	6,052.64
10.5δ	8.852	I ₁₀	12.20	f ₁ (Kgf/cm ²)	33.76
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	20.24	f _p (Kgf/cm ²)	44.51
L/600	0.750	R _{5,10}	6.18	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	28.95
L/150	3.000	R _{10,20}	8.04	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	42.45

Tabla 4.7: Resumen de Vigueta No. 5 con 30kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.3: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 10 del Fabricante Dramix con 30Kg de fibra por m³ de Concreto

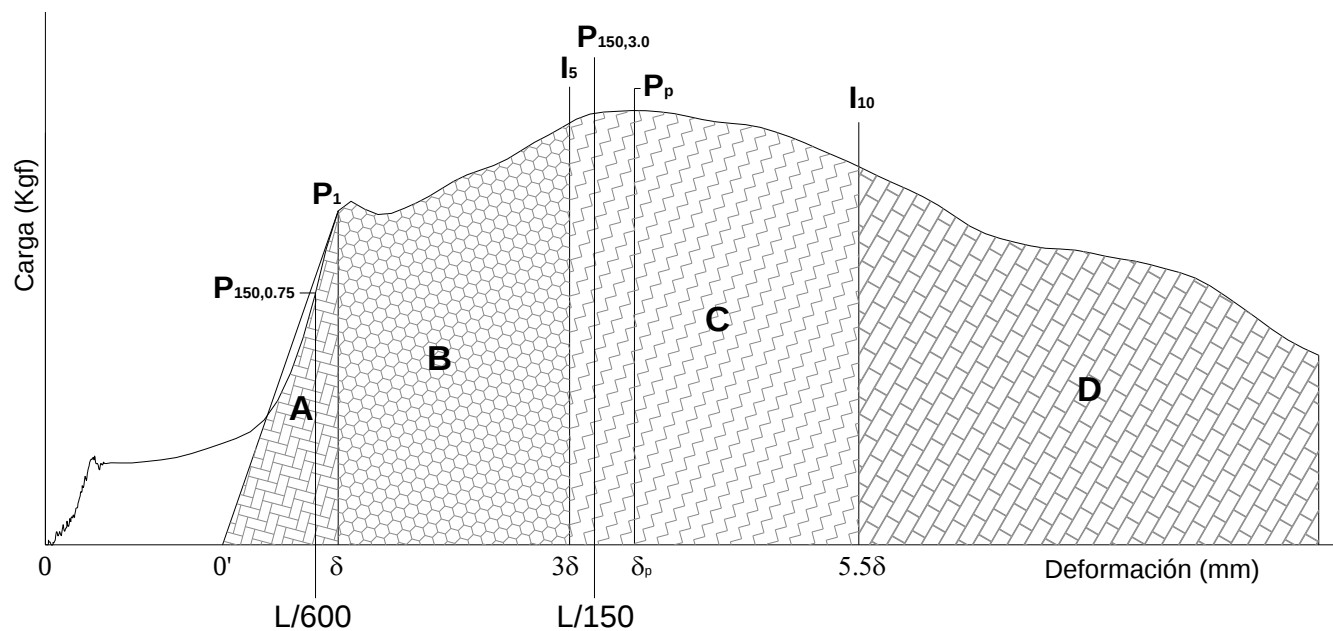


VIGUETA No. 10 CON 30 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,330.99
b	150	A ₁ (A)	1,241.83	δ ₁ (mm)	1.076
h	128	A ₂ (A+B)	7,169.02	P _p (Kgf)	3,009.48
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	13,928.81	δ _p (mm)	2.630
δ=δ ₁	1.076	A ₄ (A+B+C+D)	18,134.34	P _{150,0.75} (Kgf)	1,623.55
3δ	3.228	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,836.95
5.5δ	5.918	I ₅	5.77	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	6,532.58
10.5δ	11.298	I ₁₀	11.22	f ₁ (Kgf/cm ²)	42.68
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	14.60	f _p (Kgf/cm ²)	55.11
L/600	0.750	R _{5,10}	5.44	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	29.73
L/150	3.000	R _{10,20}	3.39	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	51.95

Tabla 4.8: Resumen de Vigueta No. 10 con 30kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.4: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 12 del Fabricante Dramix con 30Kg de fibra por m³ de Concreto



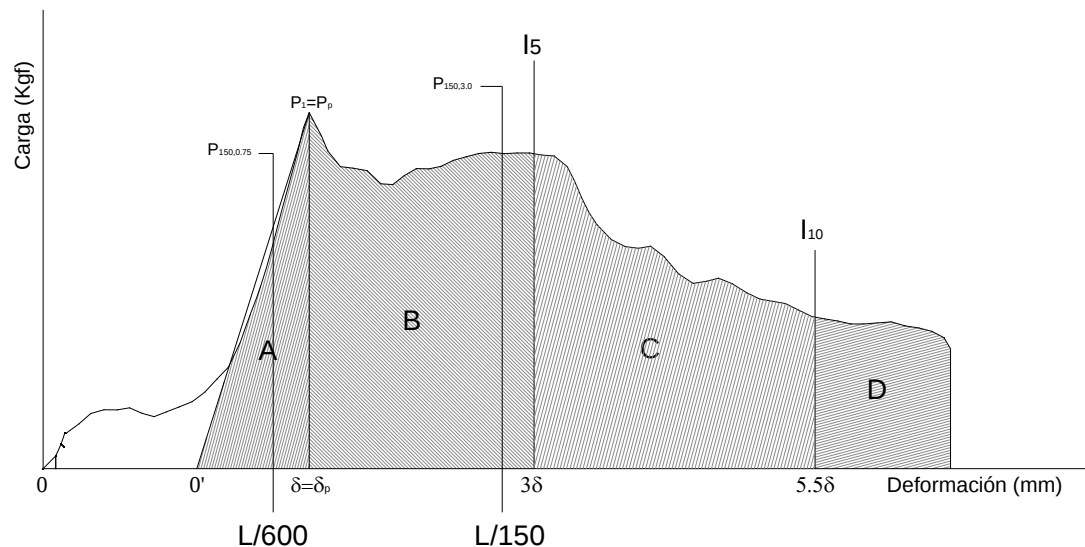
VIGUETA No. 12 CON 30 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,693.88
b	150	A ₁ (A)	1,188.38	δ ₁ (mm)	0.933
h	128	A ₂ (A+B)	6,697.48	P _p (Kgf)	3,503.14
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	14,570.66	δ _p (mm)	3.322
δ=δ ₁	0.933	A ₄ (A+B+C+D)	23,210.38	P _{150,0.75} (Kgf)	2,032.23
3δ	2.799	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	3,480.35
5.5δ	5.132	I ₅	5.64	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	7,346.51
10.5δ	9.797	I ₁₀	12.26	f ₁ (Kgf/cm ²)	49.33
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	19.53	f _p (Kgf/cm ²)	64.14
L/600	0.750	R _{5,10}	6.63	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	37.21
L/150	3.000	R _{10,20}	7.27	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	63.73

Tabla 4.9: Resumen de Vigueta No. 12 con 30kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Resultados con 35 kg/m³ de Fibra Dramix

Gráfico 4.5: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 3 del Fabricante Dramix con 35Kg de fibra por m³ de Concreto

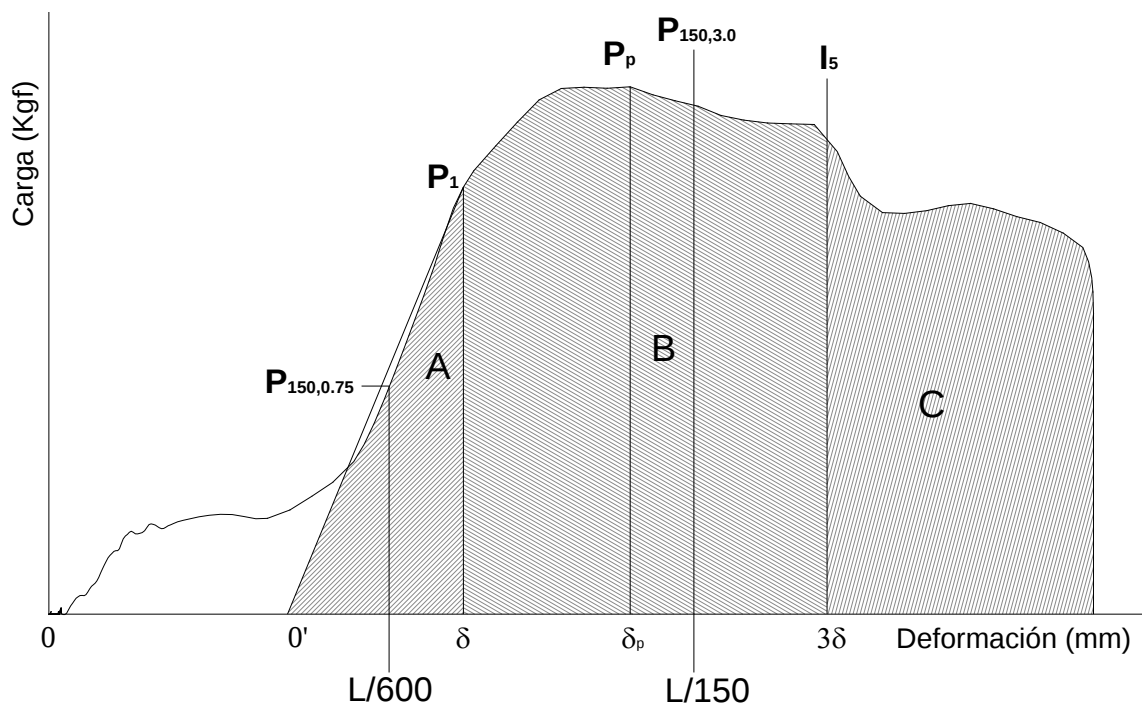


VIGUETA No. 3 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	3,497.76
b	140	A ₁ (A)	1,852.39	δ ₁ (mm)	1.104
h	145	A ₂ (A+B)	8,518.17	P _p (Kgf)	3,497.76
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	14,346.21	δ _p (mm)	1.104
δ=δ ₁	1.104	A ₄ (A+B+C+D)	16,219.00	P _{150,0.75} (Kgf)	2,218.26
3δ	3.312	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	3,095.62
5.5δ	6.072	I ₅	4.60	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	7,546.45
10.5δ	11.592	I ₁₀	7.74	f ₁ (Kgf/cm ²)	53.47
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	8.76	f _p (Kgf/cm ²)	53.47
L/600	0.750	R _{5,10}	3.15	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	33.91
L/150	3.000	R _{10,20}	1.01	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	47.33

Tabla 4.10: Resumen de Vigueta No. 3 con 35kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.6: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 4 del Fabricante Dramix con 35Kg de fibra por m³ de Concreto

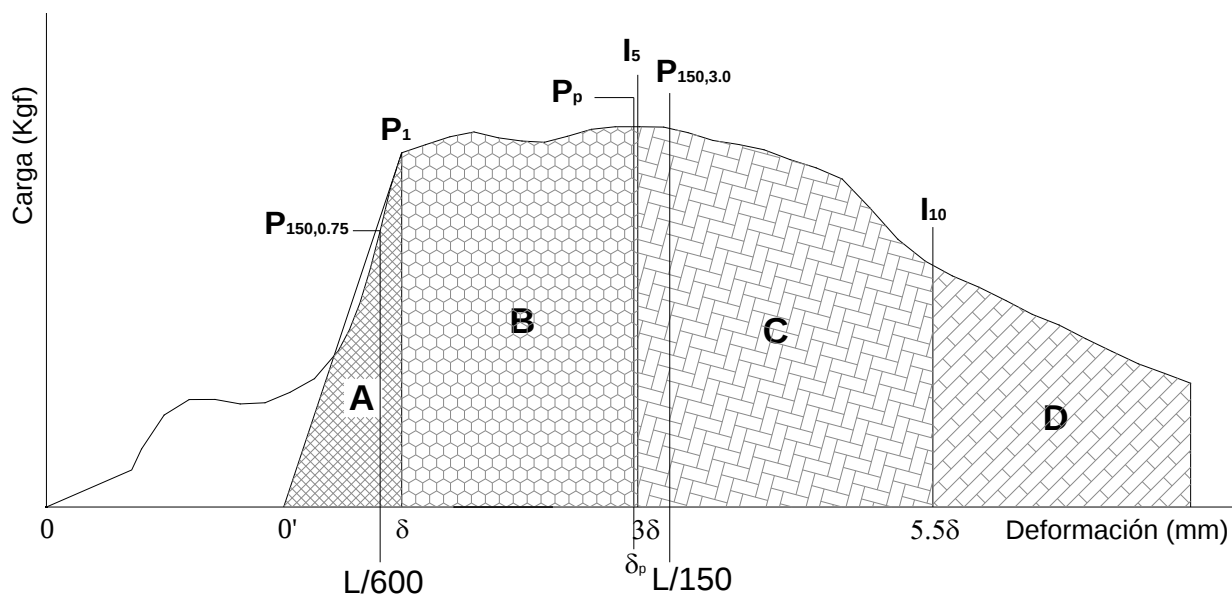


VIGUETA No. 4 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kg.f.mm)		P ₁ (Kg.f)	3,150.66
b	145	A ₁ (A)	1,973.27	δ ₁ (mm)	1.298
h	158	A ₂ (A+B)	11,907.29	P _p (Kg.f)	3,890.72
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	17,763.73	δ _p (mm)	2.529
δ=δ ₁	1.298	A ₄ (A+B+C+D)	17,763.73	P _{150,0.75} (Kg.f)	3,727.65
3δ	3.894	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kg.f)	3,652.15
5.5δ	7.139	I ₅	6.03	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	9,555.19
10.5δ	13.629	I ₁₀	9.00	f ₁ (Kg.f/cm ²)	39.17
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	9.00	f _p (Kg.f/cm ²)	48.37
L/600	0.750	R _{5,10}	2.97	f _{150,0.75} (Kg.f/cm ²)	46.34
L/150	3.000	R _{10,20}	0.00	f _{150,3.0} (Kg.f/cm ²)	45.40

Tabla 4.11: Resumen de Vigueta No. 4 con 35kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.7: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 9 del Fabricante Dramix con 35Kg de fibra por m³ de Concreto

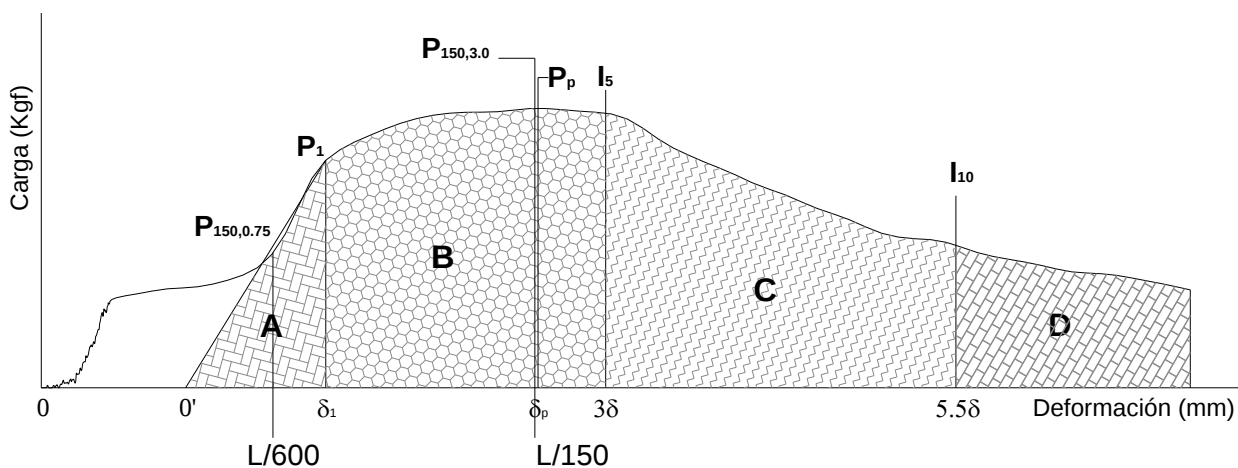


VIGUETA No. 9 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kg)	2,756.17
b	150	A ₁ (A)	1,209.27	δ ₁ (mm)	0.917
h	138	A ₂ (A+B)	6,494.15	P _p (Kg)	2,959.34
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	12,485.62	δ _p (mm)	2.721
δ=δ ₁	0.917	A ₄ (A+B+C+D)	15,295.76	P _{150,0.75} (Kg)	2,150.38
3δ	2.751	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kg)	2,945.32
5.5δ	5.044	I ₅	5.37	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	7,229.55
10.5δ	9.629	I ₁₀	10.32	f ₁ (Kg/cm ²)	43.42
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	12.65	f _p (Kg/cm ²)	46.62
L/600	0.750	R _{5,10}	4.95	f _{150,0.75} (Kg/cm ²)	33.87
L/150	3.000	R _{10,20}	2.32	f _{150,3.0} (Kg/cm ²)	46.40

Tabla 4.12: Resumen de Vigueta No. 9 con 35kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.8: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 11 del Fabricante Dramix con 35Kg de fibra por m³ de Concreto



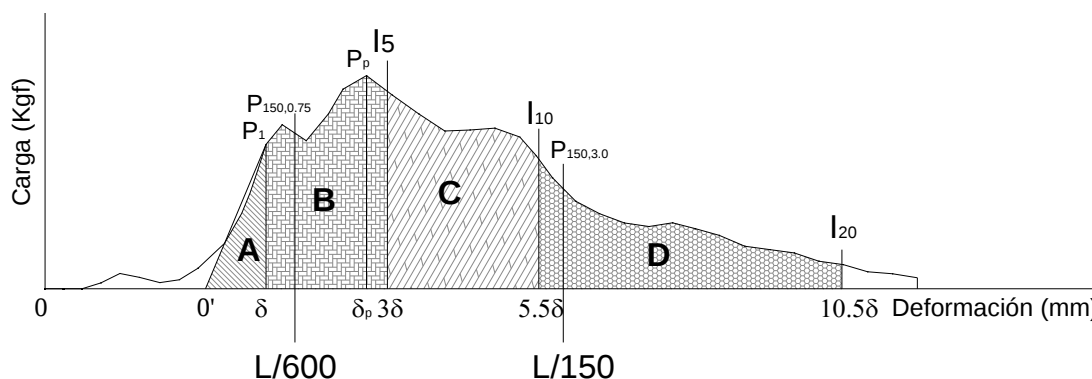
VIGUETA No. 11 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	1,957.59
b	150	A ₁ (A)	1,163.62	δ ₁ (mm)	1.203
h	138	A ₂ (A+B)	6,711.89	P _p (Kgf)	2,402.35
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	11,845.12	δ _p (mm)	3.027
δ=δ ₁	1.203	A ₄ (A+B+C+D)	13,894.08	P _{150,0.75} (Kgf)	1,162.38
3δ	3.609	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,402.27
5.5δ	6.617	I ₅	5.77	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	5,258.98
10.5δ	12.632	I ₁₀	10.18	f ₁ (Kgf/cm ²)	30.84
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	11.94	f _p (Kgf/cm ²)	37.84
L/600	0.750	R _{5,10}	4.41	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	18.31
L/150	3.000	R _{10,20}	1.76	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	37.84

Tabla 4.13: Resumen de Vigueta No. 11 con 35kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Resultados con 40 kg/m³ de Fibra Dramix

Gráfico 4.9: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 2 del Fabricante Dramix con 40Kg de fibra por m³ de Concreto

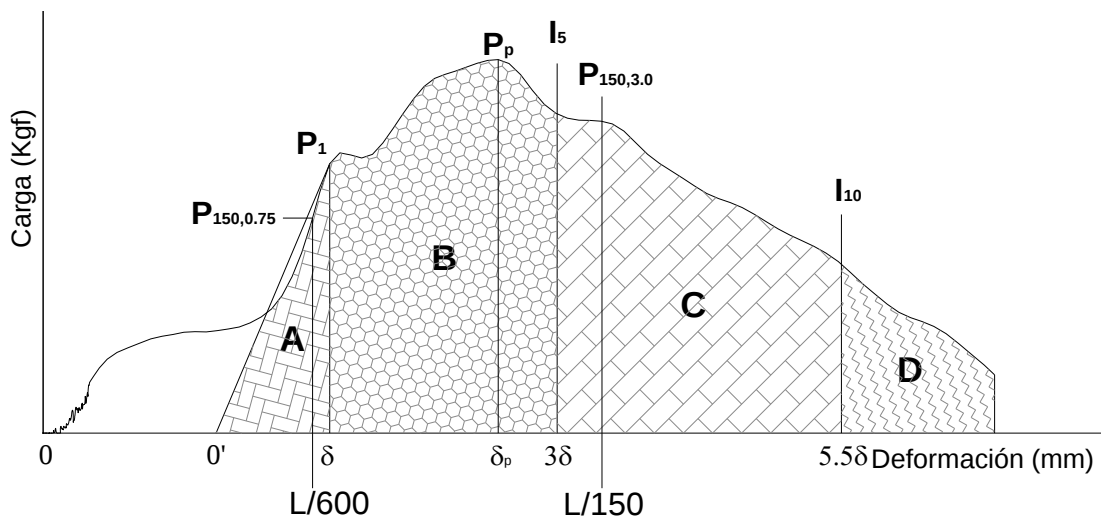


VIGUETA No. 2 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	1,211.01
b	155	A ₁ (A)	289.38	δ ₁ (mm)	0.508
h	118	A ₂ (A+B)	1,812.88	P _p (Kgf)	1,787.97
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	3,550.57	δ _p (mm)	1.351
δ=δ ₁	0.508	A ₄ (A+B+C+D)	4,818.10	P _{150,0.75} (Kgf)	1,308.62
3δ	1.524	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	839.02
5.5δ	2.794	I ₅	6.26	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	3,746.47
10.5δ	5.334	I ₁₀	12.27	f ₁ (Kgf/cm ²)	25.25
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	16.65	f _p (Kgf/cm ²)	37.28
L/600	0.750	R _{5,10}	6.00	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	27.29
L/150	3.000	R _{10,20}	4.38	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	17.49

Tabla 4.14: Resumen de Vigueta No. 2 con 40kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.10: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 6 del Fabricante Dramix con 40Kg de fibra por m³ de Concreto

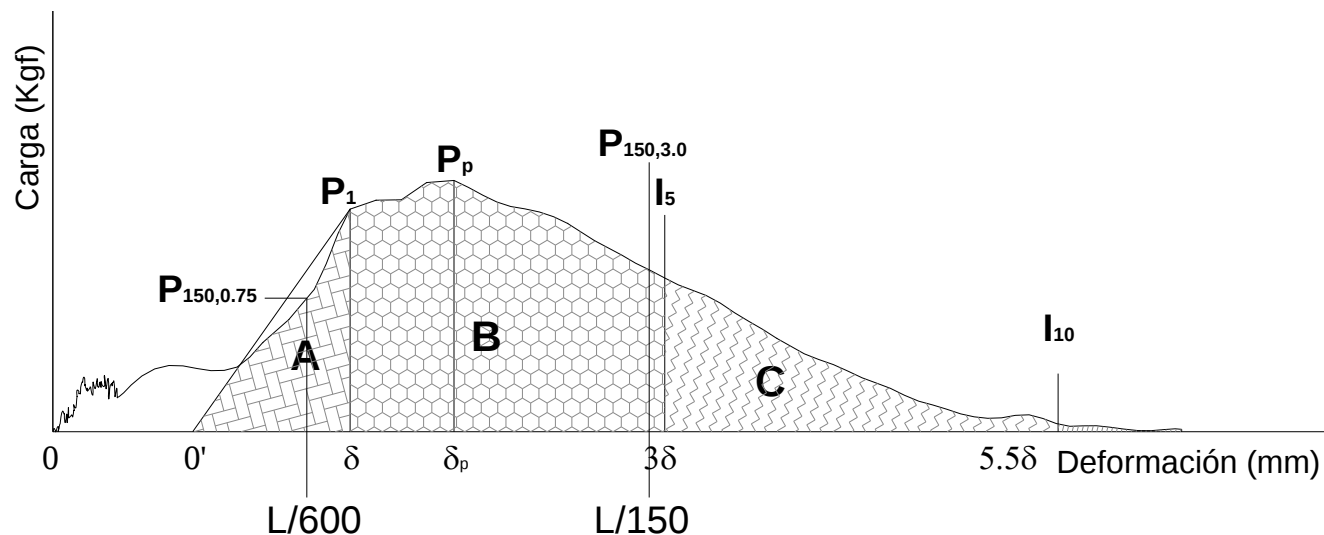


VIGUETA No. 6 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,101.02
b	150	A ₁ (A)	875.09	δ ₁ (mm)	0.884
h	113	A ₂ (A+B)	5,447.68	P _p (Kgf)	2,912.84
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	9,743.30	δ _p (mm)	2.193
δ=δ ₁	0.884	A ₄ (A+B+C+D)	10,794.56	P _{150,0.75} (Kgf)	1,676.76
3δ	2.652	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,430.49
5.5δ	4.862	I ₅	6.23	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	6,299.47
10.5δ	9.282	I ₁₀	11.13	f ₁ (Kgf/cm ²)	49.36
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	12.34	f _p (Kgf/cm ²)	68.44
L/600	0.750	R _{5,10}	4.91	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	39.39
L/150	3.000	R _{10,20}	1.20	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	57.10

Tabla 4.15: Resumen de Vigueta No. 6 con 40kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.11: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 7 del Fabricante Dramix con 40Kg de fibra por m³ de Concreto

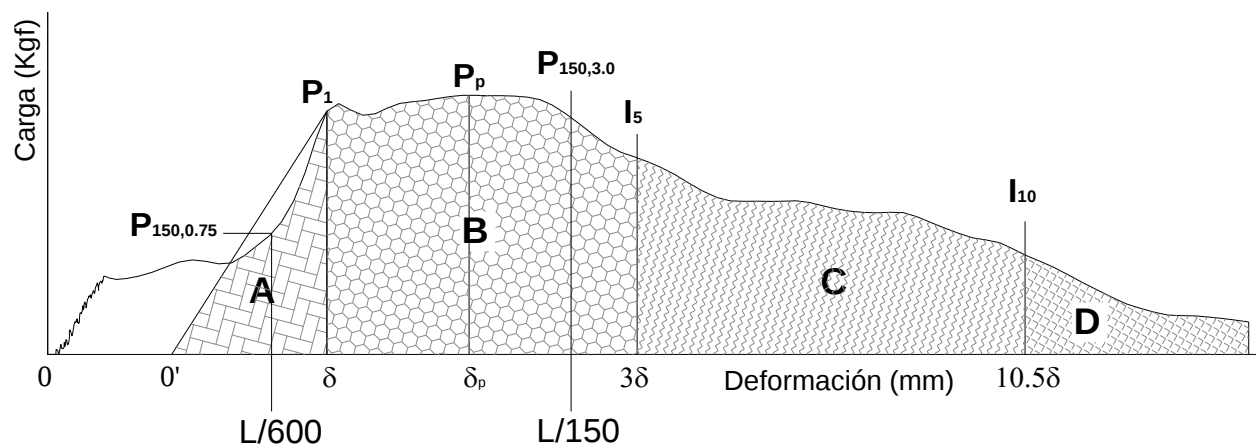


VIGUETA No. 7 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	1,453.62
b	150	A ₁ (A)	675.95	δ ₁ (mm)	1.034
h	113	A ₂ (A+B)	3,596.07	P _p (Kgf)	1,640.88
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	4,674.98	δ _p (mm)	1.716
δ=δ ₁	1.034	A ₄ (A+B+C+D)	4,694.49	P _{150,0.75} (Kgf)	871.59
3δ	3.102	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	1,055.86
5.5δ	5.687	I ₅	5.32	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	4,569.87
10.5δ	10.857	I ₁₀	6.92	f ₁ (Kgf/cm ²)	34.15
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	6.95	f _p (Kgf/cm ²)	38.55
L/600	0.750	R _{5,10}	1.60	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	20.48
L/150	3.000	R _{10,20}	0.03	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	24.81

Tabla 4.16: Resumen de Vigueta No. 7 con 40kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.12: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 8 del Fabricante Dramix con 40Kg de fibra por m³ de Concreto



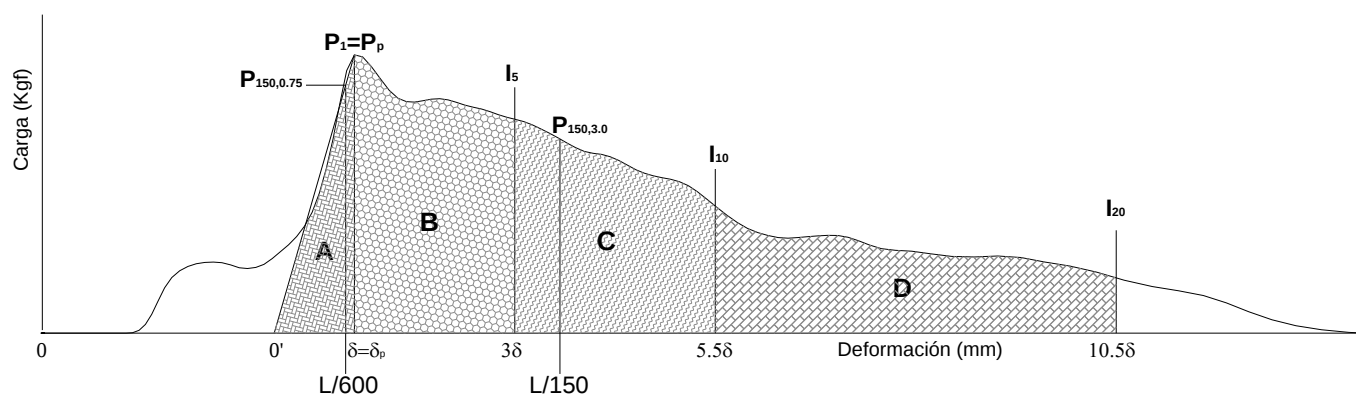
VIGUETA No. 8 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kg-f.mm)		P ₁ (Kg-f)	1,834.35
b	150	A ₁ (A)	939.21	δ ₁ (mm)	1.165
h	113	A ₂ (A+B)	5,218.61	P _p (Kg-f)	1,953.11
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	8,424.36	δ _p (mm)	2.233
δ=δ ₁	1.165	A ₄ (A+B+C+D)	9,130.03	P _{150,0.75} (Kg-f)	912.81
3δ	3.495	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kg-f)	1,782.99
5.5δ	6.408	I ₅	5.56	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	4,424.12
10.5δ	12.233	I ₁₀	8.97	f ₁ (Kg-f/cm ²)	43.10
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	9.72	f _p (Kg-f/cm ²)	45.89
L/600	0.750	R _{5,10}	3.41	f _{150,0.75} (Kg-f/cm ²)	21.45
L/150	3.000	R _{10,20}	0.75	f _{150,3.0} (Kg-f/cm ²)	41.89

Tabla 4.17: Resumen de Vigueta No. 8 con 40kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4. Resultados con 35 kg/m³ de Fibra Maccaferri

Gráfico 4.13: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 1 del Fabricante Maccaferri con 35Kg de Fibra por m³ de Concreto

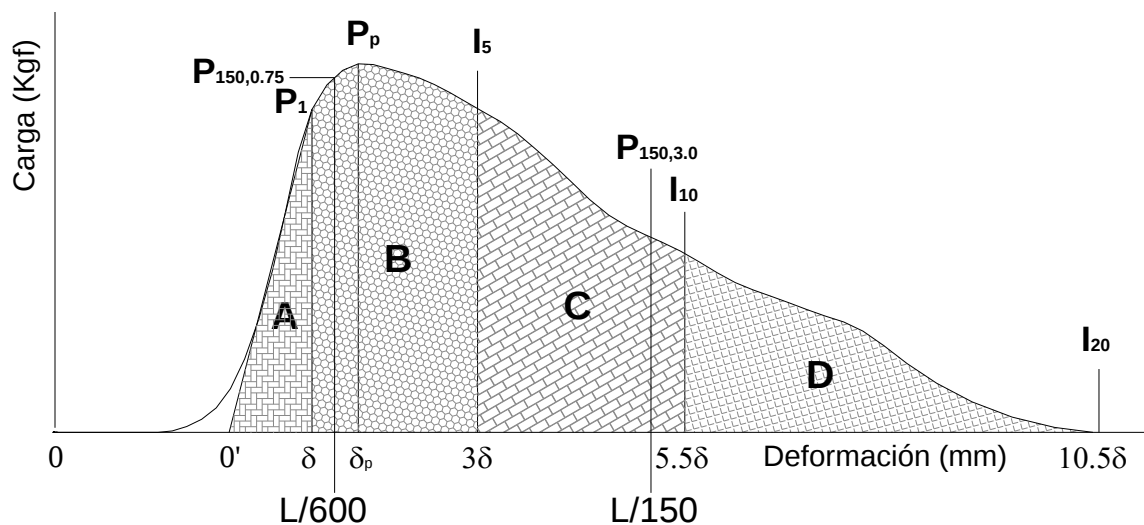


VIGUETA No. 1 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,932.21
b	148	A ₁ (A)	1,193.48	δ ₁ (mm)	0.842
h	145	A ₂ (A+B)	5,385.30	P _p (Kgf)	2,932.21
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	9,228.29	δ _p (mm)	0.842
δ=δ ₁	0.842	A ₄ (A+B+C+D)	12,973.70	P _{150,0.75} (Kgf)	2,612.89
3δ	2.526	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,046.68
5.5δ	4.631	I ₅	4.51	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	6,411.37
10.5δ	8.841	I ₁₀	7.73	f ₁ (Kgf/cm ²)	42.40
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	10.87	f _p (Kgf/cm ²)	42.40
L/600	0.750	R _{5,10}	3.22	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	37.79
L/150	3.000	R _{10,20}	3.14	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	29.60

Tabla 4.18: Resumen de Vigueta No. 1 con 35kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.14: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 2 del Fabricante Maccaferri con 35Kg de Fibra por m³ de Concreto

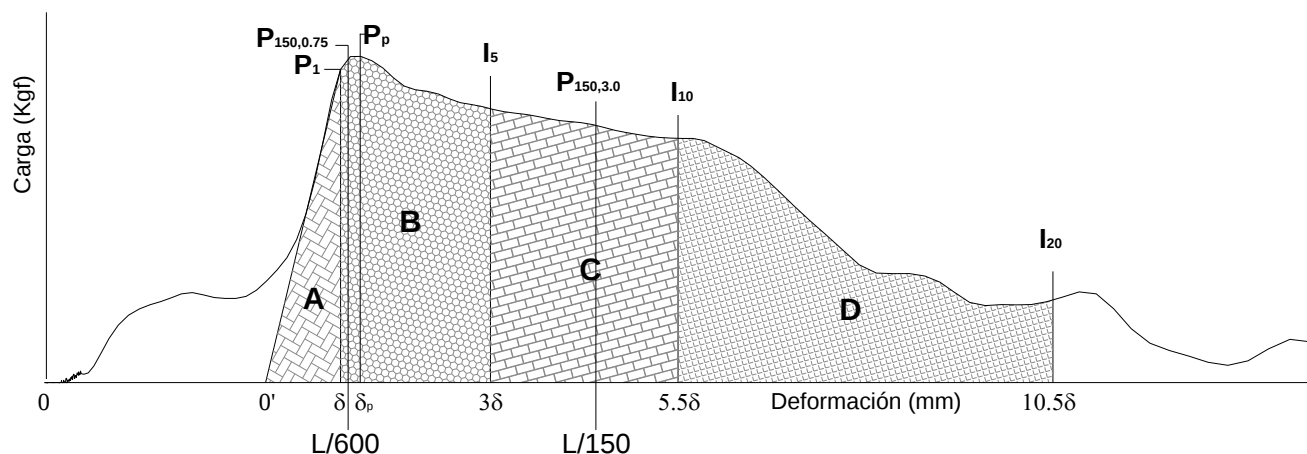


VIGUETA No. 2 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,294.80
b	152	A ₁ (A)	670.60	δ ₁ (mm)	0.589
h	146	A ₂ (A+B)	3,614.43	P _p (Kgf)	2,618.25
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	6,189.83	δ _p (mm)	0.918
δ=δ ₁	0.589	A ₄ (A+B+C+D)	7,843.29	P _{150,0.75} (Kgf)	2,519.19
3δ	1.767	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	1,386.09
5.5δ	3.240	I ₅	5.39	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	5,870.57
10.5δ	6.185	I ₁₀	9.23	f ₁ (Kgf/cm ²)	31.87
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	11.70	f _p (Kgf/cm ²)	36.36
L/600	0.750	R _{5,10}	3.84	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	34.99
L/150	3.000	R _{10,20}	2.47	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	19.25

Tabla 4.19: Resumen de Vigueta No. 2 con 35kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.15: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 3 del Fabricante Maccaferri con 35Kg de Fibra por m³ de Concreto

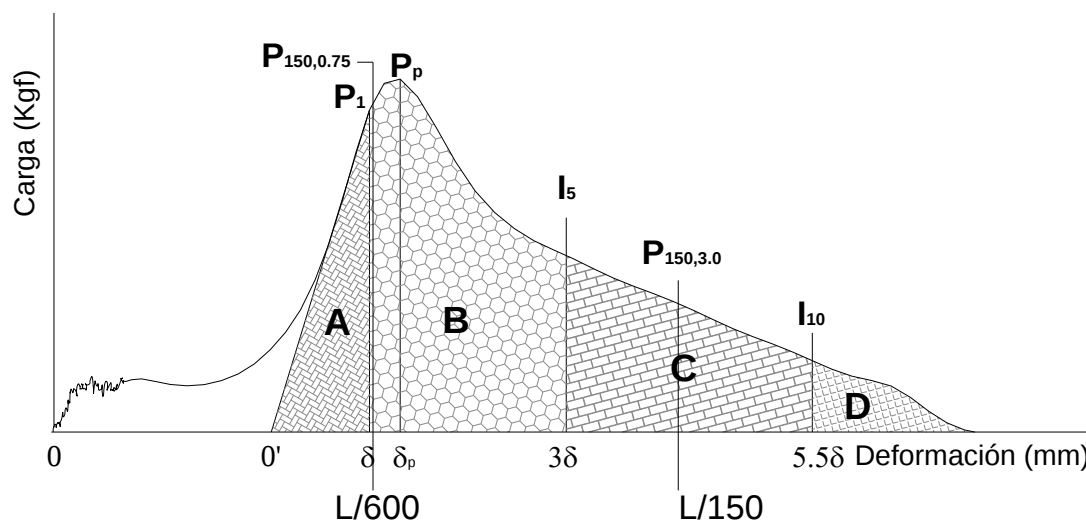


VIGUETA No. 3 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,839.00
b	160	A ₁ (A)	1,209.27	δ ₁ (mm)	0.681
h	148	A ₂ (A+B)	6,494.15	P _p (Kgf)	2,957.14
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	12,485.62	δ _p (mm)	2.721
δ=δ ₁	0.681	A ₄ (A+B+C+D)	15,295.76	P _{150,0.75} (Kgf)	2,928.80
3δ	2.043	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,331.66
5.5δ	3.746	I ₅	5.37	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	6,947.67
10.5δ	7.151	I ₁₀	10.32	f ₁ (Kgf/cm ²)	36.45
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	12.65	f _p (Kgf/cm ²)	37.97
L/600	0.750	R _{5,10}	4.95	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	37.61
L/150	3.000	R _{10,20}	2.32	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	29.94

Tabla 4.20: Resumen de Vigueta No. 3 con 35kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.16: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 4 del Fabricante Maccaferri con 35Kg de Fibra por m³ de Concreto

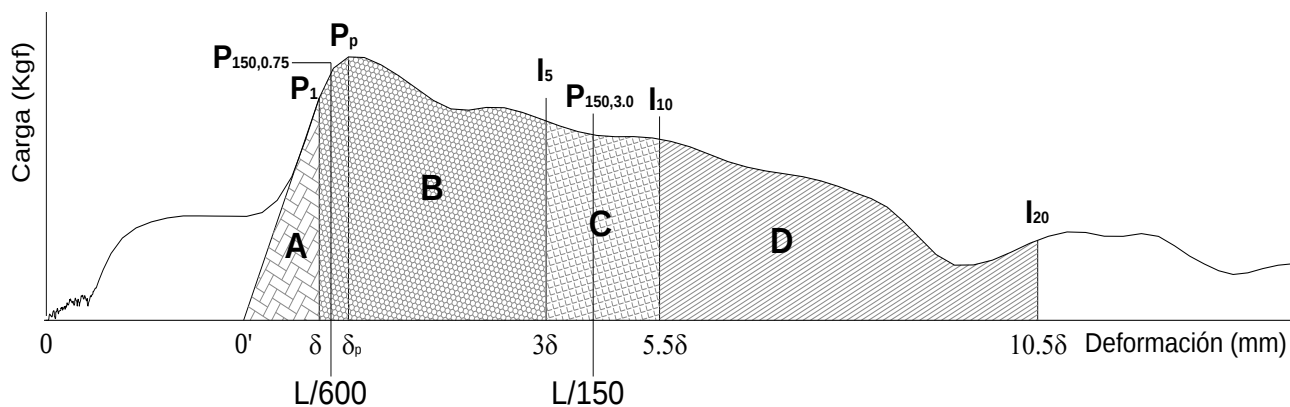


VIGUETA No. 4 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,369.42
b	149	A ₁ (A)	857.35	δ ₁ (mm)	0.725
h	147	A ₂ (A+B)	3,651.68	P _p (Kgf)	2,597.55
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	5,291.92	δ _p (mm)	0.951
δ=δ ₁	0.725	A ₄ (A+B+C+D)	5,627.14	P _{150,0.75} (Kgf)	2,415.54
3δ	2.175	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	944.78
5.5δ	3.988	I ₅	4.26	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	4,570.27
10.5δ	7.613	I ₁₀	6.17	f ₁ (Kgf/cm ²)	33.12
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	6.56	f _p (Kgf/cm ²)	36.30
L/600	0.750	R _{5,10}	1.91	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	33.76
L/150	3.000	R _{10,20}	0.39	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	13.20

Tabla 4.21: Resumen de Vigueta No. 4 con 35kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.17: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 6 del Fabricante Maccaferri con 35Kg de Fibra por m³ de Concreto



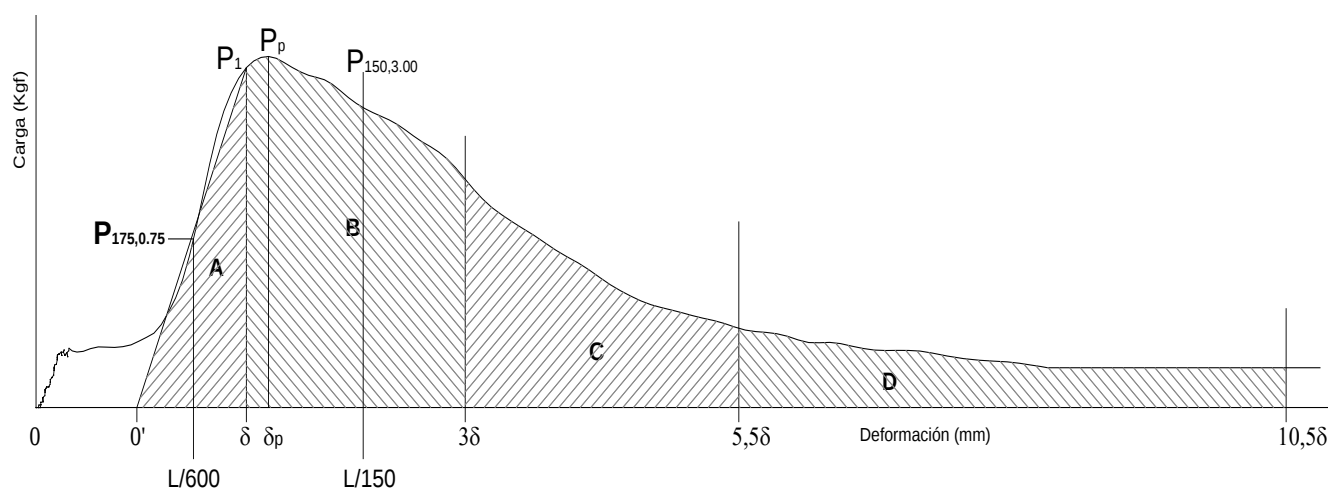
VIGUETA No. 6 CON 35 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	1,700.82
b	148	A ₁ (A)	550.96	δ ₁ (mm)	0.649
h	148	A ₂ (A+B)	3,959.52	P _p (Kgf)	2,014.78
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	5,351.53	δ _p (mm)	0.9
δ=δ ₁	0.649	A ₄ (A+B+C+D)	8,292.26	P _{150,0.75} (Kgf)	1,888.50
3δ	1.947	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	1,419.46
5.5δ	3.570	I ₅	7.19	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	4,551.48
10.5δ	6.815	I ₁₀	9.71	f ₁ (Kgf/cm ²)	23.61
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	15.05	f _p (Kgf/cm ²)	27.97
L/600	0.750	R _{5,10}	2.53	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	26.21
L/150	3.000	R _{10,20}	5.34	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	19.70

Tabla 4.22: Resumen de Vigueta No. 6 con 35kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

4.3.5. Resultados con 40 kg/m³ de Fibra Maccaferri

Gráfico 4.18: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 1 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto

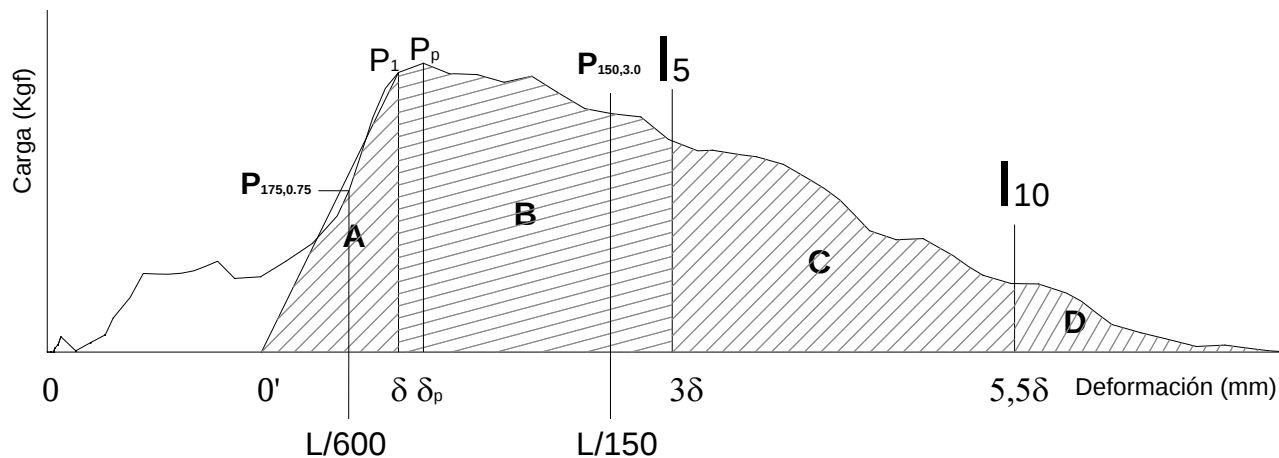


VIGUETA No. 1 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kg)	3,770.13
b	147	A ₁ (A)	2,694.48	δ ₁ (mm)	1.451
h	149	A ₂ (A+B)	12,447.41	P _p (Kg)	3,892.76
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	17,940.21	δ _p (mm)	1.745
δ=δ ₁	1.451	A ₄ (A+B+C+D)	21,966.10	P _{150,0.75} (Kg)	1,870.24
3δ	4.353	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kg)	3,326.30
5.5δ	7.981	I ₅	4.62	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	8,399.30
10.5δ	15.236	I ₁₀	6.66	f ₁ (Kg/cm ²)	51.99
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	8.15	f _p (Kg/cm ²)	53.68
L/600	0.750	R _{5,10}	2.04	f _{150,0.75} (Kg/cm ²)	25.79
L/150	3.000	R _{10,20}	1.49	f _{150,3.0} (Kg/cm ²)	45.87

Tabla 4.23: Resumen de Vigueta No. 1 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.19: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 2 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto

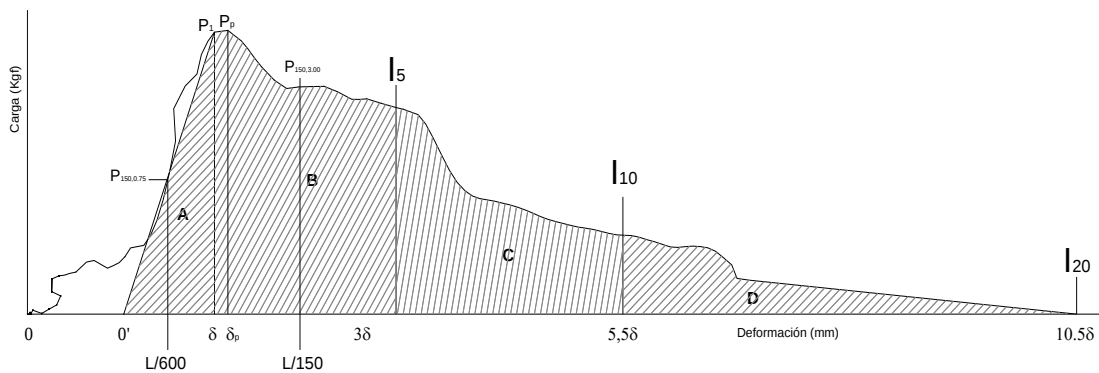


VIGUETA No. 2 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,394.49
b	138	A ₁ (A)	1,369.60	δ ₁ (mm)	1.177
h	145	A ₂ (A+B)	6,612.60	P _p (Kgf)	2,473.09
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	10,290.47	δ _p (mm)	1.392
δ=δ ₁	1.177	A ₄ (A+B+C+D)	10,817.72	P _{150,0.75} (Kgf)	1,376.09
3δ	3.531	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	2,044.00
5.5δ	6.474	I ₅	4.83	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	5,568.82
10.5δ	12.359	I ₁₀	7.51	f ₁ (Kgf/cm ²)	37.14
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	7.90	f _p (Kgf/cm ²)	38.36
L/600	0.750	R _{5,10}	2.69	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	21.34
L/150	3.000	R _{10,20}	0.38	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	31.70

Tabla 4.24: Resumen de Vigueta No. 2 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.20: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 3 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto

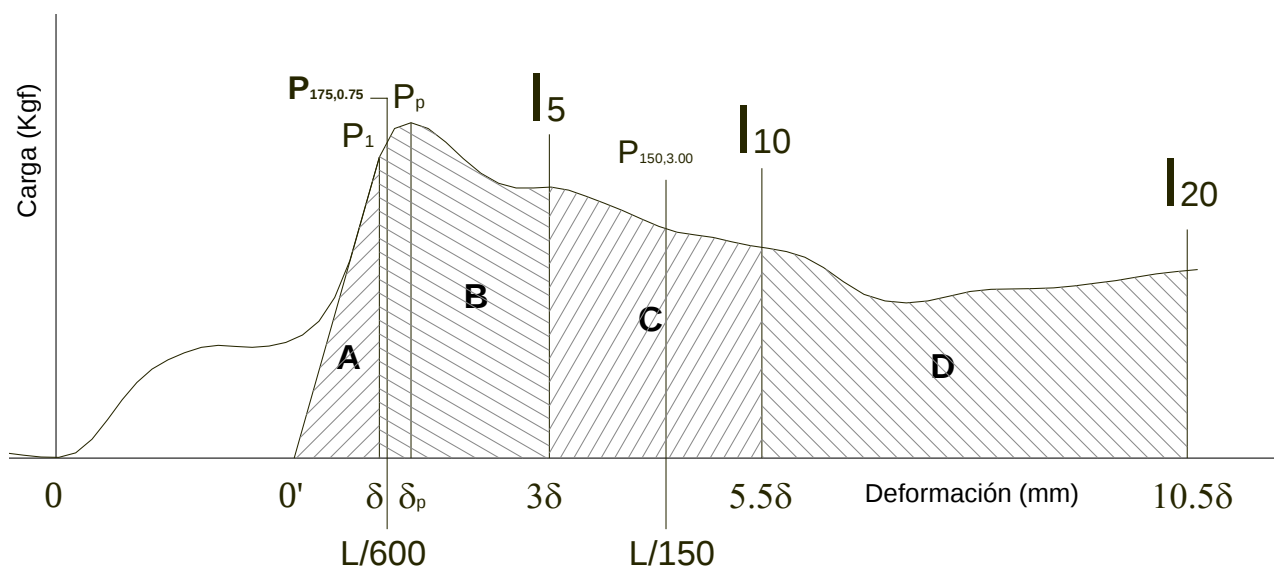


VIGUETA No. 3 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	4,513.56
b	165	A ₁ (A)	3,451.01	δ ₁ (mm)	1.545
h	146	A ₂ (A+B)	15,096.72	P _p (Kgf)	4,541.99
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	22,590.60	δ _p (mm)	1.773
δ=δ ₁	1.545	A ₄ (A+B+C+D)	26,315.57	P _{150,0.75} (Kgf)	2,151.85
3δ	4.635	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	3,637.65
5.5δ	8.498	I ₅	4.37	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	9,369.40
10.5δ	16.223	I ₁₀	6.55	f ₁ (Kgf/cm ²)	57.75
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	7.63	f _p (Kgf/cm ²)	58.11
L/600	0.750	R _{5,10}	2.17	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	27.53
L/150	3.000	R _{10,20}	1.08	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	46.54

Tabla 4.25: Resumen de Vigueta No. 3 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.21: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 4 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto

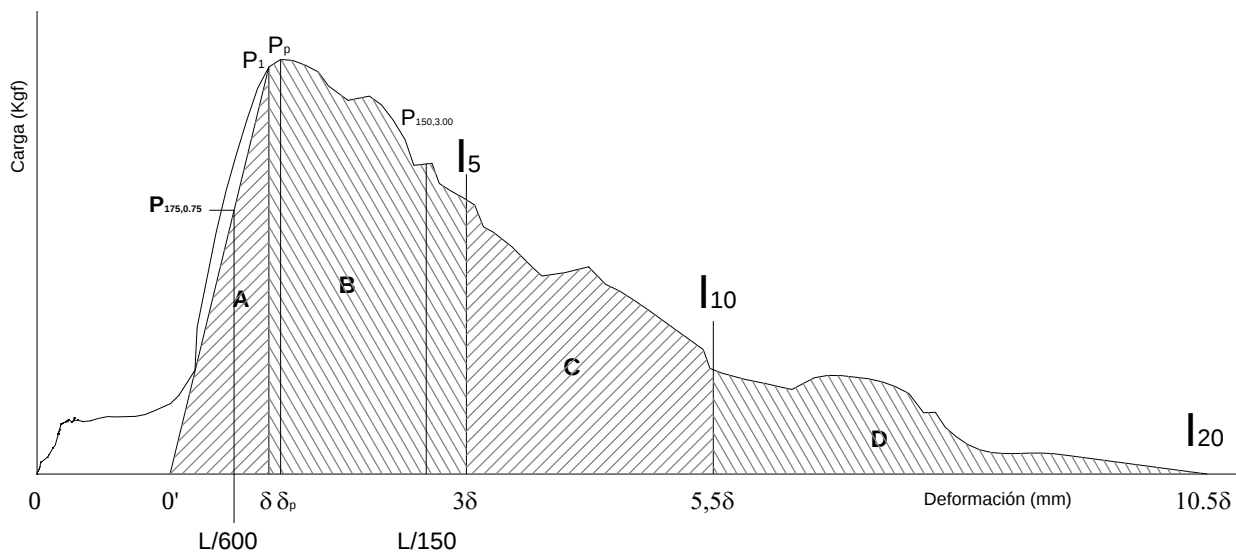


VIGUETA No. 4 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	2,425.18
b	153	A ₁ (A)	832.11	δ ₁ (mm)	0.686
h	145	A ₂ (A+B)	4,141.30	P _p (Kgf)	3,701.84
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	7,425.87	δ _p (mm)	0.943
δ=δ ₁	0.686	A ₄ (A+B+C+D)	12,270.12	P _{150,0.75} (Kgf)	2,540.36
3δ	2.058	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	1,847.75
5.5δ	3.773	I ₅	4.98	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	6057.84
10.5δ	7.203	I ₁₀	8.92	f ₁ (Kgf/cm ²)	33.93
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	14.75	f _p (Kgf/cm ²)	51.78
L/600	0.750	R _{5,10}	3.95	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	35.54
L/150	3.000	R _{10,20}	5.82	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	25.85

Tabla 4.26: Resumen de Vigueta No. 4 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.22: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 5 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto

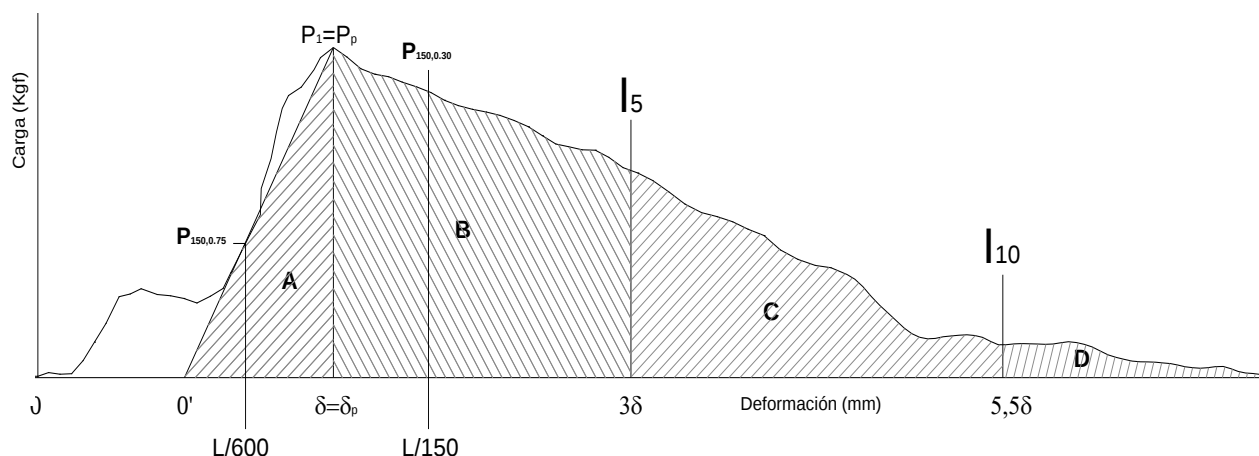


VIGUETA No. 5 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	4,763.30
b	147	A ₁ (A)	2,755.84	δ ₁ (mm)	1.157
h	147	A ₂ (A+B)	12,475.48	P _p (Kgf)	4,851.68
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	18,933.50	δ _p (mm)	1.295
δ=δ ₁	1.157	A ₄ (A+B+C+D)	22,347.78	P _{150,0.75} (Kgf)	3,087.41
3δ	3.471	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	3,629.28
5.5δ	6.364	I ₅	4.53	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	10,878.92
10.5δ	12.149	I ₁₀	6.87	f ₁ (Kgf/cm ²)	67.48
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	8.11	f _p (Kgf/cm ²)	68.73
L/600	0.750	R _{5,10}	2.34	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	43.74
L/150	3.000	R _{10,20}	1.24	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	51.41

Tabla 4.27: Resumen de Vigueta No. 5 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.23: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 6 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto

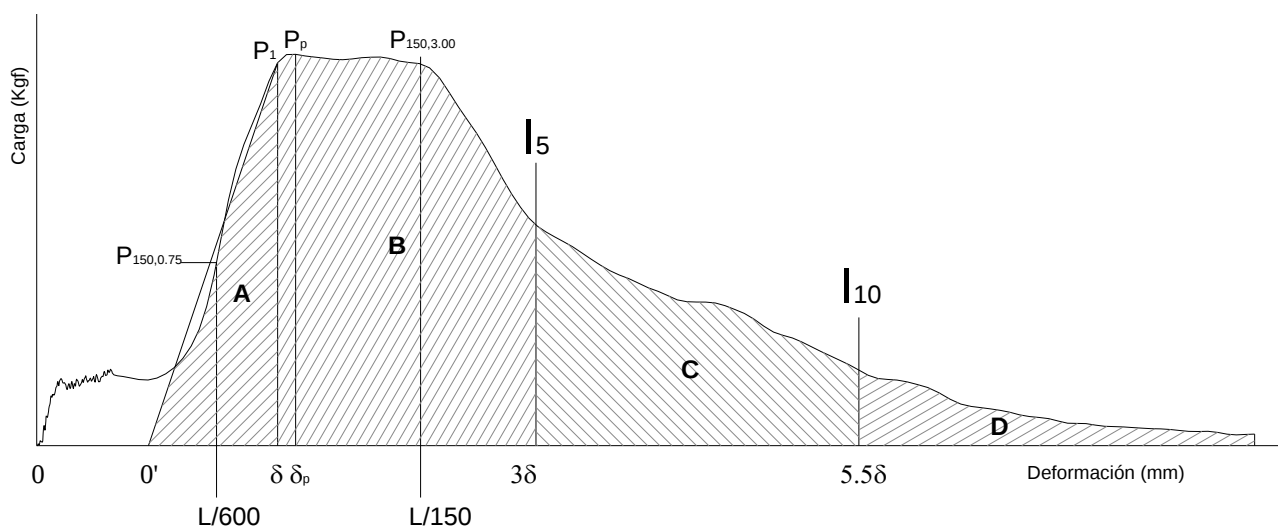


VIGUETA No. 6 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	3,835.91
b	148	A ₁ (A)	3,359.28	δ ₁ (mm)	1.829
h	149	A ₂ (A+B)	14,198.91	P _p (Kgf)	3,835.91
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	19,831.27	δ _p (mm)	1.829
δ=δ ₁	1.829	A ₄ (A+B+C+D)	20,560.91	P _{150,0.75} (Kgf)	1,496.04
3δ	5.487	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	3,188.74
5.5δ	10.060	I ₅	4.23	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	7,327.41
10.5δ	19.205	I ₁₀	5.90	f ₁ (Kgf/cm ²)	52.53
Deform. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	6.12	f _p (Kgf/cm ²)	52.53
L/600	0.750	R _{5,10}	1.68	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	20.49
L/150	3.000	R _{10,20}	0.22	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	43.67

Tabla 4.28: Resumen de Vigueta No. 6 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.24: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 7 del Fabricante Maccaferri con 40Kg de Fibra por m³ de Concreto



VIGUETA No. 7 CON 40 Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI					
Dimensiones (mm)		Norma ASTM C1018		Norma ASTM C1609	
L	450	Áreas (Kgf.mm)		P ₁ (Kgf)	4,227.32
b	152	A ₁ (A)	2,879.76	δ ₁ (mm)	1.424
h	150	A ₂ (A+B)	13,914.22	P _p (Kgf)	4,320.29
Deformaciones (mm)		A ₃ (A+B+C)	19,598.11	δ _p (mm)	1.623
δ=δ ₁	1.424	A ₄ (A+B+C+D)	21,143.62	P _{150,0.75} (Kgf)	2,017.05
3δ	4.272	Índices (adimensionales)		P _{150,3.0} (Kgf)	4,212.17
5.5δ	7.832	I ₅	4.83	T _{100,2.0} or T _{150,3.0}	9,613.83
10.5δ	14.952	I ₁₀	6.81	f ₁ (Kgf/cm ²)	55.62
Defor. a partir de 0' (mm)		I ₂₀	7.34	f _p (Kgf/cm ²)	56.85
L/600	0.750	R _{5,10}	1.97	f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	26.54
L/150	3.000	R _{10,20}	0.54	f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	55.42

Tabla 4.29: Resumen de Vigueta No. 7 con 40kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

4.3.6. Resumen de los ensayos con 30 kg/m³ de Fibra Dramix

DESEMPEÑO DE VIGUETAS CON 30Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX						
PARÁMETRO	VIGUETA No. 1	VIGUETA No. 5	VIGUETA No. 10	VIGUETA No. 12	PROMEDIO	REQUERIDO
Norma ASTM 1609						
P₁ (Kgf)	3,515.80	1,990.42	2,330.99	2,693.88	2,632.77	-
δ₁ (mm)	0.778	0.843	1.076	0.933	0.908	-
f₁ (Kgf/cm²)	51.24	33.76	42.68	49.33	44.25	-
P_p (Kgf)	4,301.02	2,624.36	3,009.48	3,503.14	3,359.50	-
δ_p (mm)	2.286	2.304	2.630	3.322	2.636	-
f_p (Kgf/cm²)	62.68	44.51	55.11	64.14	56.61	-
P_{150,0.75} (Kgf)	3,386.34	1,706.91	2,032.23	2,032.23	2,289.43	-
f_{150,0.75} (Kgf/cm²)	49.35	28.95	29.73	37.21	36.31	-
P_{150,3.0} (Kgf)	4,071.71	2,502.91	2,836.95	3,480.35	3,222.98	-
f_{150,3.0} (Kgf/cm²)	59.34	42.45	51.95	63.73	54.37	-
Norma ASTM C1018						
I₅	5.38	6.02	5.37	5.64	5.60	4.50
I₁₀	11.04	12.20	10.32	12.26	11.46	9.00
I₂₀	18.94	20.24	12.65	19.53	17.84	18.00
R_{5,10}	5.66	6.18	4.95	6.63	5.85	4.50
R_{10,20}	7.90	8.04	2.32	7.27	6.38	9.00

Tabla 4.30: Resumen de 30kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro resumen se observan los valores de cada vigueta ensayada con 30 kg de fibra Dramix, se calculó el valor promedio de cada parámetro de ese conjunto de ensayos, para posteriormente contrastar el promedio con lo requerido por el proyectista.

De acuerdo al cuadro se observa que los índices de tenacidad I_5 e I_{10} superan los valores establecidos por el proyectista, en cuanto al valor I_{20} se observa que se asemeja bastante al valor requerido donde la diferencia es de pocas décimas, por tanto se considerará que el valor promedio del índice I_{20} cumple con el valor fijado por el proyectista.

Respecto a los valores de esfuerzo residual, se pone de manifiesto que el valor promedio de $R_{5,10}$ supera el requerido, y que el $R_{10,20}$ queda por debajo del valor fijado por el proyectista, aún cuando éste valor no cumple se acepta como válido porque este tipo de ensayos tienden a producir errores elevados y aun así los resultados que se obtienen son aceptables. Por tanto ésta dosificación se considera óptima para ser recomendada en el Túnel Minero de La Rinconada.

4.3.7. Resumen de los ensayos con 35 kg/m³ de Fibra Dramix

DESEMPEÑO DE VIGUETAS CON 35Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX						
PARÁMETRO	VIGUETA No. 3	VIGUETA No. 4	VIGUETA No. 9	VIGUETA No. 11	PROMEDIO	REQUERIDO
Norma ASTM 1609						
P ₁ (Kgf)	3,497.76	3,150.66	2,756.17	1,957.59	2,840.55	-
δ ₁ (mm)	1.104	1.298	0.917	1.203	1.131	-
f ₁ (Kgf/cm ²)	53.47	39.17	30.84	30.84	38.58	-
P _p (Kgf)	3,497.76	3,890.72	2,959.34	2,402.35	3,187.54	-
δ _p (mm)	1.104	2.529	2.721	3.027	2.345	-
f _p (Kgf/cm ²)	53.47	48.37	37.84	37.84	44.38	-
P _{150,0.75} (Kgf)	2,218.26	3,727.65	1,162.38	1,162.38	2,067.67	-
f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	33.91	46.34	33.87	18.31	33.11	-
P _{150,3.0} (Kgf)	3,095.62	3,652.15	2,945.32	2,402.27	3,023.84	-
f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	47.33	45.40	46.40	37.84	44.24	-
Norma ASTM C1018						
I ₅	4.60	6.03	5.37	5.77	5.44	4.50
I ₁₀	7.74	9.00	10.32	10.18	9.31	9.00
I ₂₀	8.76	9.00	12.65	11.94	10.59	18.00
R _{5,10}	3.15	2.97	4.95	4.41	3.87	4.50
R _{10,20}	1.01	0.00	2.32	1.76	1.27	9.00

Tabla 4.31: Resumen de 35kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro resumen se observan los valores de cada viga ensayada con 35kg de fibra Dramix, se calculó el valor promedio de cada parámetro de ese conjunto de ensayos, para posteriormente contrastar el promedio con lo requerido por el proyectista, tal como se hizo con la concentración de 30kg de fibra.

De acuerdo al cuadro se observa que los índices de tenacidad I_5 e I_{10} superan los valores establecidos por el proyectista; en cuanto al valor I_{20} se observa que el valor difiere notablemente del valor requerido, donde la desviación es de 41% aproximadamente.

Respecto a los valores de esfuerzo residual, se pone de manifiesto que el valor promedio de $R_{5,10}$ y el $R_{10,20}$ no cumplen con lo establecido por el proyectista, por ello se considera que esta dosificación es deficiente en cuanto a los parámetros de ductilidad.

4.3.8. Resumen de los ensayos con 40 kg/m³ de Fibra Dramix

DESEMPEÑO DE VIGUETAS CON 40Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX						
PARÁMETRO	VIGUETA No. 2	VIGUETA No. 6	VIGUETA No. 7	VIGUETA No. 8	PROMEDIO	REQUERIDO
Norma ASTM 1609						
P ₁ (Kgf)	1,211.01	2,101.02	1,453.62	1,834.35	1,650.00	-
δ ₁ (mm)	0.508	0.884	1.034	1.165	0.898	-
f ₁ (Kgf/cm ²)	25.25	49.36	34.15	43.10	37.97	-
P _p (Kgf)	1,787.97	2,912.84	1,640.88	1,953.11	2,073.70	-
δ _p (mm)	1.351	2.193	1.716	2.233	1.873	-
f _p (Kgf/cm ²)	37.28	68.44	38.55	45.89	47.54	-
P _{150,0.75} (Kgf)	1,308.62	1,676.76	912.81	912.81	1,202.75	-
f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	27.29	39.39	20.48	21.45	27.15	-
P _{150,3.0} (Kgf)	839.02	2,430.49	1,055.86	1,782.99	1,527.09	-
f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	17.49	57.10	24.81	41.89	35.32	-
Norma ASTM C1018						
I ₅	6.26	6.23	5.32	5.56	5.84	4.50
I ₁₀	12.27	11.13	6.92	8.97	9.82	9.00
I ₂₀	16.65	12.34	6.95	9.72	11.41	18.00
R _{5,10}	6.00	4.91	1.60	3.41	3.98	4.50
R _{10,20}	4.38	1.20	0.03	0.75	1.59	9.00

Tabla 4.32: Resumen de 40kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro resumen se observan los valores de cada viga ensayada con 40kg de fibra Dramix, se calculó el valor promedio de cada parámetro de ese conjunto de ensayos, para posteriormente contrastar el promedio con lo requerido por el proyectista, tal como se hizo con la concentración de 30kg y 35kg de fibra.

De acuerdo al cuadro se observa que los índices de tenacidad I_5 e I_{10} superan los valores establecidos por el proyectista; en cuanto al valor I_{20} se observa que el valor difiere notablemente del valor requerido, donde la desviación es de 36% aproximadamente.

Respecto a los valores de esfuerzo residual, se observa que el valor promedio de $R_{5,10}$ y el $R_{10,20}$ no cumplen con lo establecido por el proyectista, por ello se considera que esta dosificación es deficiente en cuanto a los parámetros de ductilidad.

4.3.9. Resumen de los ensayos con 35 kg/m³ de Fibra Maccaferri

DESEMPEÑO DE VIGUETAS CON 35Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI							
PARÁMETROS	VIGUETA No. 1	VIGUETA No. 2	VIGUETA No. 3	VIGUETA No. 4	VIGUETA No. 6	PROMEDIO	REQUERIDO
Norma ASTM C1609							
P ₁ (Kgf)	2,932.21	2,294.80	2,839.00	2,369.42	1,700.82	2,427.25	-
δ ₁ (mm)	0.842	0.589	0.681	0.725	0.649	0.697	-
f ₁ (Kgf/cm ²)	42.40	31.87	33.12	33.12	23.61	32.82	-
P _p (Kgf)	2,932.21	2,618.25	2,957.14	2,597.55	2,597.55	2,740.54	-
δ _p (mm)	0.842	0.918	2.721	0.951	0.900	1.266	-
f _p (Kgf/cm ²)	42.40	36.36	36.30	36.30	27.97	35.87	-
P _{150,0.75} (Kgf)	2,612.89	2,519.19	2,415.54	2,415.54	1,888.50	2,370.33	-
f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	37.79	34.99	37.61	33.76	26.21	34.07	-
P _{150,3.0} (Kgf)	2,046.68	1,386.09	2,331.66	944.78	1,419.46	1,625.73	-
f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	29.60	19.25	29.94	13.20	19.70	22.34	-
Norma ASTM C1018							
I ₅	4.51	5.39	5.37	4.26	7.19	5.34	4.50
I ₁₀	7.73	9.23	10.32	6.17	9.71	8.63	9.00
I ₂₀	10.87	11.70	12.65	6.56	15.05	11.37	18.00
R _{5,10}	3.22	3.84	4.95	1.91	2.53	3.29	4.50
R _{10,20}	3.14	2.47	2.32	0.39	5.34	2.73	9.00

Tabla 4.33: Resumen de 35kg/m³ de Fibra Maccaferri

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro resumen se observan los valores de cada viga ensayada con 35kg de fibra Maccaferri, se calculó el valor promedio de cada parámetro de ese conjunto de ensayos, para posteriormente contrastar el promedio con lo requerido por el proyectista, tal como se hizo con todas las concentraciones de fibra Dramix.

De acuerdo al cuadro se observa que el índice de tenacidad I_5 cumple con lo requerido por el proyectista, los índices I_{10} e I_{20} no alcanzan el valor fijado por el proyectista, en los cuales la desviación en I_{10} es de 4% y la de I_{20} es de 37% aproximadamente.

Respecto a los valores de esfuerzo residual, se observa que el valor promedio de $R_{5,10}$ y el $R_{10,20}$ no cumplen con lo establecido por el proyectista, por ello se considera que esta dosificación es deficiente con respecto a los parámetros que han sido evaluados.

4.3.10. Resumen de los ensayos con 40 kg/m³ de Fibra Maccaferri

DESEMPEÑO DE VIGUETAS CON 40Kg/m ³ DE FIBRA MACCAFERRI									
PARÁMETROS	VIGUETA No. 1	VIGUETA No. 2	VIGUETA No. 3	VIGUETA No. 4	VIGUETA No. 5	VIGUETA No. 6	VIGUETA No. 7	PROMEDIO	REQUERIDO
Norma ASTM C1609									
P ₁ (Kgf)	3,770.13	2,394.49	4,513.56	2,425.18	4,763.30	3,835.91	4,227.32	3,275.84	-
δ ₁ (mm)	1.451	1.177	1.545	0.686	1.157	1.829	1.424	1.215	-
f ₁ (Kgf/cm ²)	51.99	37.14	57.75	33.93	67.48	52.53	55.62	45.20	-
P _p (Kgf)	3,892.76	2,473.09	4,541.99	3,701.84	4,851.68	3,835.91	4,320.29	3,652.42	-
δ _p (mm)	1.745	1.392	1.773	0.943	1.295	1.829	1.623	1.463	-
f _p (Kgf/cm ²)	53.68	38.36	58.11	51.78	68.73	52.53	56.85	50.48	-
P _{150,0.75} (Kgf)	1,870.24	1,376.09	2,151.85	2,540.36	3,087.41	1,496.04	2,017.05	1,984.64	-
f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	25.79	21.34	27.53	35.54	43.74	20.49	26.54	27.55	-
P _{150,3.0} (Kgf)	3,326.30	2,044.00	3,637.65	1,847.75	3,629.28	3,188.74	4,212.17	2,713.93	-
f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	45.87	31.70	46.54	25.85	51.41	43.67	55.42	37.49	-
Norma ASTM C1018									
I ₅	4.62	4.83	4.37	4.98	4.53	4.23	4.83	4.70	4.50
I ₁₀	6.66	7.51	6.55	8.92	6.87	5.90	6.81	7.41	9.00
I ₂₀	8.15	7.90	7.63	14.75	8.11	6.12	7.34	9.61	18.00
R _{5,10}	2.04	2.69	2.17	3.95	2.34	1.68	1.97	2.71	4.50
R _{10,20}	1.49	0.38	1.08	5.82	1.24	0.22	0.54	2.20	9.00

Tabla 4.34: Resumen de 40kg/m³ de Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia

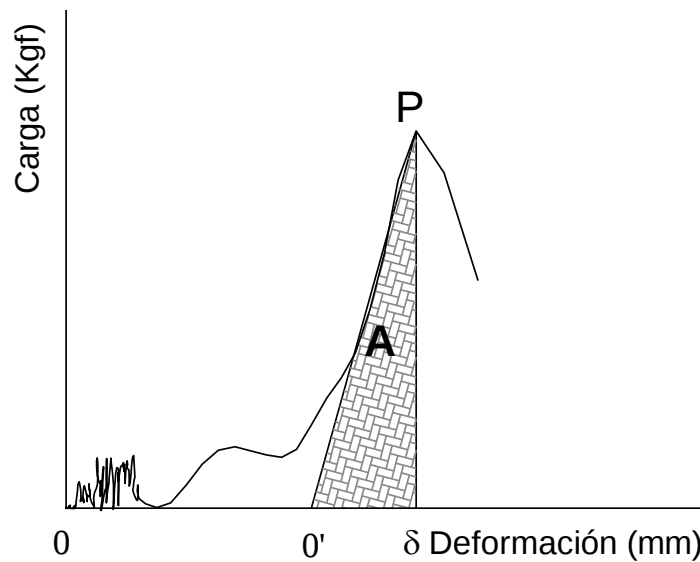
En el cuadro resumen se observan los valores de cada viga ensayada con 40kg de fibra Maccaferri, se calculó el valor promedio de cada parámetro de ese conjunto de ensayos, para posteriormente contrastar el promedio con lo requerido por el proyectista, tal como se ha hecho con los ensayos anteriores.

De acuerdo al cuadro se observa que el índice de tenacidad I_5 cumple con lo requerido por el proyectista, los índices I_{10} e I_{20} no alcanzan el valor fijado por el proyectista, en los cuales la desviación en I_{10} es de 18% y el de I_{20} es de 47% aproximadamente.

Respecto a los valores de esfuerzo residual, se observa que el valor promedio de $R_{5,10}$ y el $R_{10,20}$ no cumplen con lo establecido por el proyectista, por ello se considera que esta dosificación es deficiente con respecto a los parámetros de ductilidad.

4.3.11. Resumen de los Ensayos de Viguetas Sin Fibras

Gráfico 4.25: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 1 Sin Fibras



VIGUETA No. 1 SIN FIBRAS			
Dimensiones (mm)		Resultados Obtenidos	
L	450	δ (mm)	0.658
b	150	P (kg)	2385.83
h	150	Mr (Kg/cm ²)	31.81
Área = Energía (kg.mm)		773.9	

Tabla 4.35: Resumen de Vigueta No. 1 Sin Fibras

Fuente: Elaboración Propia

El gráfico presentado, corresponde a la curva de carga vs deformación, de una viga de concreto simplemente apoyada, con carga a tercios, a la cual se le aplicó una carga vertical variable, mientras se registraba su deformación vertical en un equipo electrónico, para la adquisición de datos, de este ensayo se obtuvieron tales valores de carga y deformación, que posteriormente fueron graficados en el programa Autocad 2008, por medio del cual se determinó los parámetro que se expresan en el resumen de cada vigueta sin fibras.

A cada vigueta se le determinó la carga máxima que soporta, y en la cual se produce la primera grieta, también se determinó la deformación a la que esto ocurre, donde ésta es medida a partir del cero corregido (0').

También se determinó el área bajo la curva, que representa la energía absorbida por el elemento, hasta que alcanza su punto de rotura.

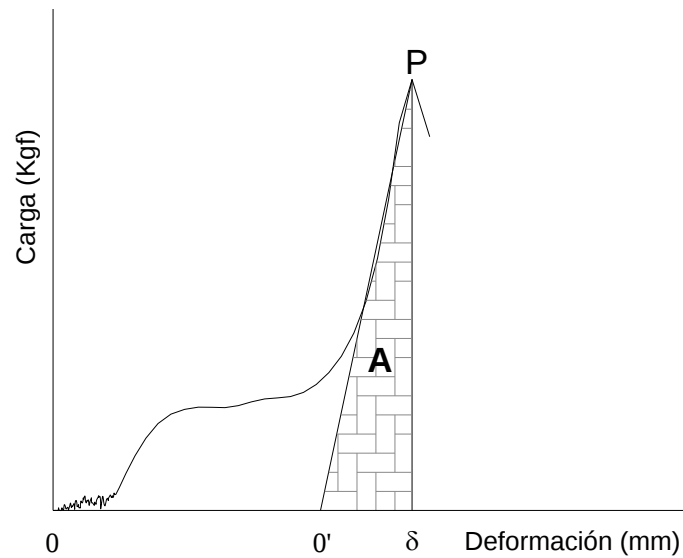
Carga máxima soportada por el elemento, en la cual se produce la primera grieta.

Deformación en la que se produce la primera grieta

Los valores de energía fueron obtenidos directamente del programa Autocad 2008 el cual arroja un valor preciso del área

Estos valores fueron calculados en las gráficas siguientes, ya que el comportamiento, es el mismo y por tanto se generan los mismos puntos notables.

Gráfico 4.26: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 2 Sin Fibras

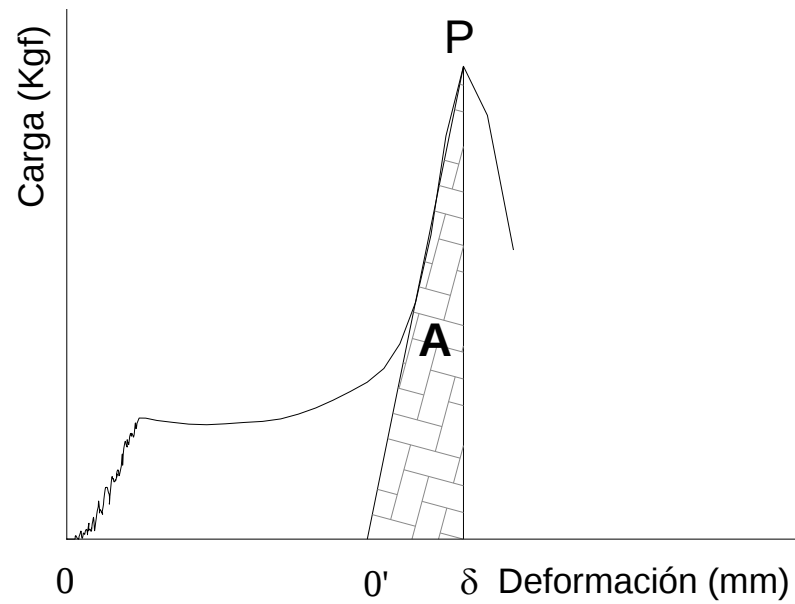


VIGUETA No. 2 SIN FIBRAS			
Dimensiones (mm)		Resultados Obtenidos	
L	450	δ (mm)	0.734
b	150	P (kg)	3436.8
h	150	Mr (Kg/cm ²)	45.82
Área = Energía (kg.mm)		1244.87	

Tabla 4.36: Resumen de Vigueta No. 2 Sin Fibras

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.27: Carga vs Deformación de la Vigueta No. 3 Sin Fibras



VIGUETA No. 3 SIN FIBRAS			
Dimensiones (mm)		Resultados Obtenidos	
L	450	δ (mm)	0.571
b	150	P (kg)	2793.99
h	150	Mr (Kg/cm ²)	37.25
Área = Energía (kg.mm)		794.73	

Tabla 4.37: Resumen de Vigueta No. 3 Sin Fibras

Fuente: Elaboración Propia

RESUMEN DE VIGUETAS SIN FIBRAS				
Parámetros	Vigueta No. 1	Vigueta No. 2	Vigueta No. 3	Promedio
δ (mm)	0.658	0.734	0.571	0.654
P (kg)	2385.83	3436.8	2793.99	2,872.21
Mr (Kg/cm ²)	31.81	45.82	37.25	38.30
Energia (kg.mm)	773.9	1244.87	794.73	937.83

Tabla 4.38: Resumen de Viguetas Sin Fibras

Fuente: Elaboración Propia

En la *Tabla 4.38* se observa que los valores obtenidos del ensayo de viguetas sin fibra, tienen magnitudes semejantes que indican que el buen comportamiento de las mismas.

VIGUETAS	P ₁ PROMEDIO (kg)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm ²)
Dramix de 30kg	2,632.77	44.25
Dramix de 35kg	2,840.55	38.58
Dramix de 40kg	1,650.00	37.97
Maccaferri de 35kg	2,427.25	32.82
Maccaferri de 40kg	3,275.84	45.20
Sin Fibras	2,872.21	38.30

Tabla 4.39: Resumen de Carga P₁ Promedio por cada tipo de Ensayo*Fuente: Elaboración Propia*

En la *Tabla 4.39* se observan los valores del primer pico de carga (P_1) promedio y del módulo de rotura del concreto (f_1) promedio, donde el concreto alcanza su punto de rotura y su resistencia final a la tracción respectivamente. En el cuadro se evidencia que el valor de carga que soporta el elemento sin fibras, es similar a los que soportan los elementos fibroreforzados. De hecho la carga promedio de las viguetas sin fibra está dando por encima de las concentraciones de 30, 35 y 40kg de fibra Dramix y

35 de fibra Maccaferri, y se encuentra levemente por debajo de las concentraciones de 40kg. En cuanto al módulo de rotura se observa que el valor de las viguetas sin fibras se encuentra dentro del rango de valores de viguetas con fibras, por tanto esto confirma la teoría de que bajas concentraciones de fibras no modifican significativamente estos parámetros y que antes de la rotura sólo está trabajando el concreto.

4.3.12. Comparación de los Resultados de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 35kg con lo requerido por Proyecto

DESEMPEÑO PROMEDIO DE VIGUETAS CON 35Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX Y MACCAFERRI			
PARÁMETRO	PORMEDIO DRAMIX	PROMEDIO MACCAFERRI	REQUERIDO
Norma ASTM 1609			
P ₁ (Kgf)	2,840.55	2,427.25	-
δ ₁ (mm)	1.13	0.70	-
f ₁ (Kgf/cm ²)	38.58	32.82	-
P _p (Kgf)	3,187.54	2,740.54	-
δ _p (mm)	2.35	1.27	-
f _p (Kgf/cm ²)	44.38	35.87	-
P _{150,0.75} (Kgf)	2,067.67	2,370.33	-
f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	33.11	34.07	-
P _{150,3.0} (Kgf)	3,023.84	1,625.73	-
f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	44.24	22.34	-
Norma ASTM C1018			
I ₅	5.44	5.34	4.50
I ₁₀	9.31	8.63	9.00
I ₂₀	10.59	11.37	18.00
R _{5,10}	3.87	3.29	4.50
R _{10,20}	1.27	2.73	9.00

Tabla 4.40: Resumen de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 35kg/m³ de fibra

Fuente: Elaboración Propia

En la *Tabla 4.40* se expresan los valores promedios de las viguetas ensayadas con fibra Dramix y fibra Maccaferri con concentraciones de 35kg. También se observan los valores requeridos, los cuales corresponden al 90% de los índices de un material elastoplástico ideal.

El cuadro permite la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos conforme a lo esperado y de ello puede deducirse lo siguiente:

Con respecto a los índices de tenacidad I_5 se observa que ambos fabricantes superan el valor requerido, a diferencia que en el índice I_{10} donde sólo el fabricante Dramix logra exceder el valor requerido. En el índice I_{20} ninguno llega a aproximarse si quiera al valor fijado, donde la desviación de Dramix y Maccaferri corresponden al 42% y 37% respectivamente. Aun cuando la fibra Dramix mostro mejor comportamiento que la fibra Maccaferri en los primeros índices, se observa que en el índice I_{20} Maccaferri logra supera el valor de Dramix, pero ambos siguen siendo insuficientes.

En los índices de esfuerzo residual ninguno de los fabricantes logró alcanzar el valor requerido, por lo cual se considera que ambas dosificaciones de concreto son deficientes ya que no cumplen con los valores esperados.

4.3.13. Comparación de los Resultados de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 40kg con lo requerido por Proyecto

DESEMPEÑO PROMEDIO DE VIGUETAS CON 40Kg/m ³ DE FIBRA DRAMIX Y MACCAFERRI			
PARÁMETRO	PORMEDIO DRAMIX	PROMEDIO MACCAFERRI	REQUERIDO
Norma ASTM 1609			
P ₁ (Kgf)	1,650.00	3,275.84	-
δ ₁ (mm)	0.90	1.21	-
f ₁ (Kgf/cm ²)	37.97	45.20	-
P _p (Kgf)	2,073.70	3,652.42	-
δ _p (mm)	1.87	1.46	-
f _p (Kgf/cm ²)	47.54	50.48	-
P _{150,0.75} (Kgf)	1,202.75	1,984.64	-
f _{150,0.75} (Kgf/cm ²)	27.15	27.55	-
P _{150,3.0} (Kgf)	1,527.09	2,713.93	-
f _{150,3.0} (Kgf/cm ²)	35.32	37.49	-
Norma ASTM C1018			
I ₅	5.84	4.70	4.50
I ₁₀	9.82	7.41	9.00
I ₂₀	11.41	9.61	18.00
R _{5,10}	3.98	2.71	4.50
R _{10,20}	1.59	2.20	9.00

Tabla 4.41: Resumen de los Ensayos Dramix y Maccaferri de 40kg/m³ de fibra

Fuente: Elaboración Propia

En la *Tabla 4.41* se expresan los valores promedios de las viguetas ensayadas con fibra Dramix y fibra Maccaferri con concentraciones de 40kg; al igual que en la *Tabla 4.40* También se comparará con el valor requerido.

El cuadro permite la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos conforme a lo esperado , y de ello puede deducirse lo siguiente:

Con respecto a los índices de tenacidad I_5 se observa que ambos fabricantes superan el valor requerido, a diferencia que en el índice I_{10} donde sólo el fabricante Dramix logra exceder el valor requerido. En el índice I_{20} ninguno llega a aproximarse al valor fijado, donde la desviación de Dramix y Maccaferri corresponden al 37% y 47% respectivamente. Aun cuando ningunos de los fabricantes logró alcanzar el valor esperado, se pone de manifiesto en los ensayos que las viguetas con fibra Dramix tienen mejor comportamiento, pero a pesar de ello ambos resultan ser insuficientes.

En los índices de esfuerzo residual ninguno de los fabricantes logró alcanzar el valor requerido, por lo cual se considera que ambas dosificaciones de concreto son deficientes ya que no cumplen con los valores esperados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El estudio realizado en este Trabajo Especial de Grado permite emitir las siguientes conclusiones:

Se culminó el estudio del concreto proyectado fibroreforzado, el cual constituye una solución propuesta por la Constructora Norberto Odebrecht S.A, a la Compañía Metro de Caracas, en la cual se brindó la oportunidad de tener acceso a los ensayos realizados para hacer un trabajo de investigación en torno a ellos.

En cada ensayo se determinaron los parámetros que las Normas ASTM C1609 y C1018, establecen que deben ser calculados, se observó que todas las gráficas poseen un comportamiento típico de los elementos fibroreforzados, en el cual las viguetas siguen soportando cargas luego de alcanzar el punto de rotura del concreto, a diferencia de los elementos sin fibras de acero, en los cuales una vez alcanzado dicho punto, la viga deja de absorber energía y por tanto no resiste ningún tipo de carga adicional.

La comparación de los parámetros obtenidos se llevó a cabo solo con los índices de la Norma ASTM C1018, debido a que el proyectista sólo fijó los valores que deben ser comparados con lo obtenido por medio de ellas. Los valores dados permiten evaluar si los resultados obtenidos en cada tipo de ensayo son aceptables y de ese modo poder establecer cual o cuales dosificaciones tienen un mejor comportamiento a tracción. Cabe destacar que la obtención de esos valores suscitó ciertos inconvenientes, debido a que, para los proyectistas resultaba difícil dar parámetros de ductilidad, ya

que esto es un concepto que surge después del agrietamiento del elemento, y siendo una tecnología relativamente nueva aun hoy en día existen dudas al respecto.

En cuanto al aporte que la fibra le proporciona al concreto se puede concluir, que la fibra le confiere al concreto propiedades de la cual el carecía, en cuanto a ductilidad el aporte es del 100%, ya que al llegar al punto de rotura del concreto, el elemento continúa absorbiendo energía, ya que las fibras de acero se encuentran trabajando, debido a que logran redistribuir las tensiones en la masa de concreto.

De acuerdo a los ensayos realizados y posteriormente analizados, se concluye que la dosificación óptima a ser recomendada en el Túnel Minero de la Rinconada, es la dosificación de 30kg de Fibra del Fabricante Dramix, puesto que es la que posee mejor comportamiento dúctil, aún cuando uno de los índices estudiados no cumplen con los valores exigidos por el proyectista, se recomienda el uso de esta dosificación debido a que el rango de valores obtenidos, se consideraron aceptables.

En cuanto a las casas de Fibra Dramix y Maccaferri, podemos decir que para las dosificaciones ensayadas de 35kg y 40kg, observamos comportamientos bastante similares por cada tipo de dosificación de fibra, pero éstos no llegan a alcanzar el valor requerido por el proyectista, lo que nos permite afirmar que estas dosificaciones son deficientes, por ello se descartan para ser recomendadas en el Túnel Minero de La Rinconada. Lo ocurrido va en contra del pensamiento común donde se cree que al tener mayor cantidad de fibra se alcanza mayor ductilidad, una explicación para este fenómeno podría ser que forman cúmulos de fibras, también llamados

en el argot ingenieril (erizos), los cuales afectan la adherencia de las fibras con el concreto, generando en ellas disminución de su capacidad de trabajo.

Es posible que las dimensiones de las viguetas hayan variado el resultado de los ensayos, la Norma ASTM C78 es rigurosa en cuanto a las dimensiones que debe tener cada vigueta, así como la ubicación de los puntos de carga, al alterar estas condiciones, así fuere por diferencias milimétricas, podría generarse una variación significativa en los resultados obtenidos.

Otro factor que pudo incidir en los resultados obtenidos con fibra Dramix, fueron las condiciones meteorológicas ya que para el día del ensayo se produjeron lluvias de intensidad elevada, lo cual originó que las actividades de proyección de las bandejas se hiciesen de manera intermitente, y que la humedad en el ambiente fuese mayor que en un día soleado.

Los valores obtenidos en los ensayos pueden haber sido afectados por la falta de un dispositivo llamado Servo-controlador el cual tiene la función de mantener una tasa controlada de aumento de la deformación. Este equipo es altamente costoso y se encuentran en pocos laboratorios del mundo.

Cabe destacar que estudios realizados por (*Bernard, 1999*), en los cuales se ensayaron vigas y paneles utilizando el dispositivo Servo-controlador, arrojaron errores del 20% con lo cual ellos afirmaron que este tipo de ensayos tienden a producir errores, y que pese a ello se logran obtener valores que pueden ser perfectamente utilizados.

En cuanto a la energía se concluye que no existe un valor establecido por el proyectista que permitiese afirmar si el valor obtenido es acorde a lo requerido o no.

Los índices de tenacidad indican los niveles de dureza del elemento, y el esfuerzo residual indica la dureza retenida en determinados tramos de la curva carga-deformación, estos valores representan los parámetros de ductilidad del elemento, debido a que se estudian en las ductilidades 3δ , 5.5δ y 10.5δ , lo cual que indica la propiedad que tiene el elemento de deformarse tantas veces su deformación elástica.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar ensayos con 30kg de fibra Maccaferri, para evaluar si su comportamiento cumple con lo establecido por el proyectista, ya que los resultados obtenidos de los ensayos con 35kg y 40kg de fibra no alcanzaron los valores exigidos.

Se recomienda a la Constructora Norberto Odebrecht, que emplee el uso de equipos de proyección para vía húmeda, de 4" de asentamiento ya que la máquina de proyectado que fue empleada corresponde a un equipo de vía seca, que puede operar mezclas de vía húmeda con asentamientos de 7", lo cual ha hecho que la mezcla utilizada sea más fluida y por ende ha generado mayores consumos de aditivo acelerado de fraguado (Meyco SA 160) para poder disminuir el efecto de rebote. Por tanto se recomienda el uso de equipos apropiados.

Se recomienda hacer ensayos donde se estudie el concreto proyectado con la malla de acero y se compare con los parámetros obtenidos del concreto proyectado fibroreforzado, conforme a las normas ASTM C1018 y C1609.

Se recomienda el uso del dispositivo servo-controlador para obtener datos más precisos de carga y deformación.

Se recomienda elevar el número de ensayos a 30, por cada tipo de dosificación estudiada, para obtener valores precisos que puedan ser estadísticamente representativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEXTOS

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2004). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: Selecolor C.A.

Ryan, T. (1976). *Hormigón Lanzado*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Hormigón.

Sauer, G. (2005). *Tunnelling is an ART (La Perforación de Túneles es un Arte)*. Bélgica: Dramix.

DOCUMENTOS Y REPORTE TÉCNICOS

American Society for Testing and Materials (*Sociedad Americana para la Realización de Pruebas y Materiales*). (1997) Método de prueba Estándar para Tenacidad y la Flexión de Primera Fuerza Crack en Fibra de Hormigón Armado.

American Society for Testing and Materials (*Sociedad Americana para la Realización de Pruebas y Materiales*). (2005) Método de Prueba Estándar del rendimiento a Flexión de la Fibra de Hormigón Armado

BASF. (2007). *Aditivos para el Concreto*. Caracas: Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht, 2007.

Bernard, E. (1999). Correlations in the Performance of Fibre Reinforced Shotcrete Beams and Panels (*Correlaciones en el Desempeño del Hormigón Reforzado con Fibras de Vigas y Paneles*). Kingswood: School of Civic Engineering and Environment.

Departamento de Control Tecnológico de Odebrecht. (2007). *Estado del Conocimiento*. Caracas: Publicación Interna.

Raga Parilli, Cristina. Concreto Proyectado. Tesis de la Universidad Central de Venezuela. Año 1974

MEDIOS ELECTRÓNICOS

Traductor de Google, [On-line] disponible en:

http://www.google.co.ve/language_tools?hl=es (2008, Abril y Mayo)

ANEXOS

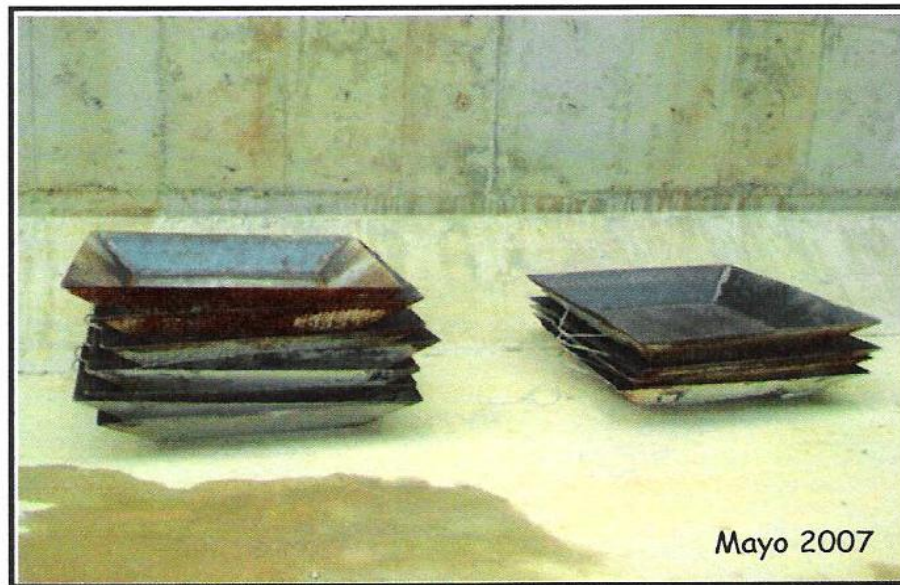


Foto 1: Moldes Metálicos para Bandejas de Concreto Proyectado
(Para corte de Viguetas y extracción de Núcleos)

Fuente: Elaboración Propia



Foto 2: Elaboración de la mezcla de Concreto con Fibras
Para realización de Bandejas con Fibra Dramix

Fuente: Elaboración Propia



Foto 3: Prueba de Asentamiento del Cono de Abrams

Fuente: Elaboración Propia



Foto 4: Piscina para el curado de las Bandejas de Concreto y los Cilindros Estandarizados

Fuente: Elaboración Propia



Foto 5: Viguetas Dramix
Fuente: Elaboración Propia

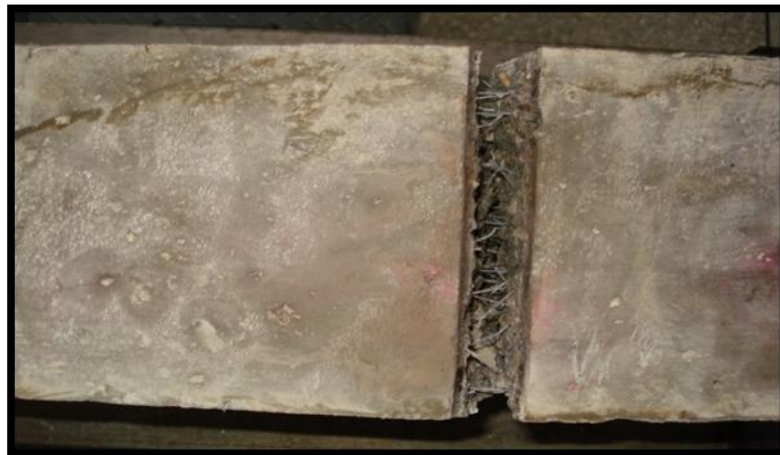


Foto 6: Vigueta Ensayada donde se aprecian las Fibras de Acero
Fuente: Elaboración Propia