

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJES ROSCADOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA CONDICIONES DE BORDE.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Di Martino G., Linabel C.

Díaz R., Orlando J.

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJES ROSCADOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA CONDICIONES DE BORDE.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ronald Torres.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Di Martino G., Linabel C.

Díaz R., Orlando J.

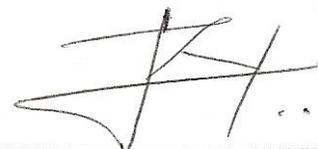
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2009

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado “**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJES ROSCADOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA CONDICIONES DE BORDE**”, desarrollado por los bachilleres LINABEL C. DI MARTINO G. Y ORLANDO J. DIAZ R. para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y apariencia externa.

Considerando que cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, autorizo se proceda a la entrega de los ejemplares respectivos ante el Departamento de Ingeniería *Estructural*, para que sea sometido a evaluación por parte del jurado examinador que le sea designado.

En Caracas, a los 25 días del mes de Junio del año 2009.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping strokes, positioned above a horizontal line.

Ing. Ronald Torres

ACTA

El día Jueves 5 de Noviembre de 2009 se reunió el jurado formado por los profesores:

José Manuel Velásquez

Trino Baloa

Ronald Torres

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: “**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJES ROSCADOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA CONDICIONES DE BORDE**”. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Linabel C. Di Martino G.	20	Veinte
Br. Orlando J. Díaz R.	20	Veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 5 de Noviembre de 2009

DEDICATORIA

Cuando me gradúe de Bachillerato quería estudiar Administración en la UCV, no quede al presentar la prueba la vez que lo hice (cuando aun estaba cursando el Bachillerato), una vez graduada presente la prueba de admisión en la Facultad de Ingeniería de la UCV, lo hice como práctica para la presentación por segunda vez de la prueba de admisión de la Facultad de Administración de la UCV, gracias a mi Dios quede en el curso introductorio de la Facultad de Ingeniería, inicie el curso pensando que mas adelante me podría cambiar a Administración, pero al cursar el Introdutorio los excelentes profesores que me instruyeron sembraron un gran interés en mi con respecto a esta carrera tan grande que decidí quedarme en esta Facultad. Aprobé el curso e inicie mis estudios en Ingeniería, pero no estaba segura de que rama de la Ingeniería quería cursar, al comienzo quería Petróleo pero al ver que el campo de trabajo era limitado me fui por Química, estuve un buen tiempo allí pero no me gustaba, al final ore a mi Señor y decidí cambiarme a la escuela de Civil y fue cuando empezó todo lo mejor, la carrera es realmente hermosa, los profesores son muy buenos y le doy gracias a Dios por guiarme y ayudarme hasta aquí porque la verdad no tenia ni idea de que era la carrera que tenia que estudiar.

Le dedico esta tesis a mi Dios y salvador el Señor Jesucristo por haberme ayudado en todo, también a mi madre Petra Gamboa por apoyarme, amarme y guiarme en todo momento a pesar de mis indecisiones (es la mejor madre que Dios me ha podido dar), a mis hermanas Zuribel Di Martino G. y Carolina Di Martino G. por apoyarme en todo momento y amarme como lo hacen, las amo a las tres, Dios las bendiga y las ayude siempre. También la dedico a esas personas que no saben lo que quieren estudiar, busquen siempre de Dios, confíen en Él y Él los guiará a la mejor carrera que pueden cursar como lo hizo conmigo.

Di Martino Linabel

DEDICATORIA

Hoy día, recuerdo... al muchacho sancasimireño que a su salida del bachillerato anhelaba formarse profesionalmente de Ingeniero Civil en la mejor casa de estudio del País... *La Universidad Central de Venezuela*. Esto significaba la ruptura de paradigmas de superación de quienes subestimaban la visión más allá de los horizontes y sueños del ser humano... pero, ¿Por qué no? ¿Que me impedía crecer? Eran interrogantes que nacían ante las aspiraciones de un crecimiento personal. Gracias a **Dios**, que contaba con el apoyo de **Mis Padres**... quienes no dudaron en apostar la materialización de mi proyecto de vida profesional, sin más olvidar a mi **Tía Nena y mi Tía Gladys** que desde siempre han sido como una segunda madre.

Nuevamente, doy gracias a Dios por los **PADRES** que me regalado (mamá, papá, tías),... porque ellos vivieron junto a mi los madrugonazos, las tristezas, las alegrías, las esperas, etc... todo lo que represento el esfuerzo de la vida universitaria dándome en todo momento aliento de fortaleza para seguir adelante. A ellos y primeramente a Ti Señor les dedico este logro.

Orlando Díaz

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a mi Dios por darme la oportunidad de estudiar esta hermosa e interesante carrera, por llevarme y ayudarme hasta aquí, por darme buenos profesores amigos y compañeros en la UCV y por permitirme culminar mi pregrado con éxito.

Le doy gracias a mi hermosa madre Petra Gamboa porque sin ella no podría haber llegado hasta aquí, le doy gracias por todos los sacrificios que ha hecho por mi y mis hermanas, por amarnos como lo ha hecho, por ser no solo excelente madre sino también excelente amiga y por guiarnos siempre por el camino del bien.

Le doy gracias a mis hermanas Zuribel Di Martino y Carolina Di Martino por apoyarme en todo momento, por ser tan lindas personas, excelentes amigas y hermanas, gracias por todo, las amo.

Gracias a mis profesores, los cuales me instruyeron y ayudaron en todo momento, sin ellos no tendría el conocimiento que he adquirido, muchas gracias a todos y que Dios los bendiga siempre, los llene de sabiduría para que sigan enseñando e instruyendo a otros alumnos como yo.

Gracias a mi gran compañero y amigo de tesis Orlando Díaz por ayudarme y apoyarme siempre, te quiero mucho amigo Dios te bendiga en todo momento y te siga ayudando como lo ha hecho hasta ahora.

Gracias a los profesores Ronald Torres y Cesar Peñuela en conjunto con el Técnico Elioni que nos ayudaron a realizar y culminar con éxito este Trabajo de Grado, que Dios los llene de sabiduría y los colme de bendiciones hoy y siempre.

Di Martino Linabel

AGREDICIMIENTOS

En principio le quiero dar gracias a Dios por su bendición al permitirme alcanzar un escalón más de mis proyectos de vida.

A mis Padres por su apoyo y amor incondicional.

Agradezco a mis hermanos Jesús, Glaysber y Omaraliz por su amor, comprensión y ayuda en los momentos difíciles de esta vida universitaria.

A mis abuelas Irma y Carmen por su cobija de amor de madre.

A Jonathan Jiménez... Por la hermandad con la que nos ha bendecido el Señor

A mis tíos y primos, que siempre estuvieron atentos a cada granito de arena que pudieran aportar para que hiciera mejor la cosas.

A mis amigos por su compañía, aportes y buenos deseos.

A la Universidad por ser el lugar que no solo me formo como profesional, sino como persona.

A mi amiga de Tesis, Lina por su compañía, comprensión y ayuda en este trabajo de grado.

A nuestro Tutor Ronald Torres por todo su apoyo y guía en la realización de este trabajo de Grado.

Al Profesor Cesar Peñuela, por su ayuda en cuanto cosa pudiera para la realización de esta tesis.

Al IMME por la utilización de sus instalaciones, equipos y personal para la realización de los ensayos en especial a Elione.

A la Concretera Rapid Concret, C.A. por aporte de materiales y apoyo profesional por parte de la Ing. Lourdes.

A todos, ¡Mil Gracias!

Orlando Díaz

Di Martino G. Linabel C.

Díaz R. Orlando J.

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJES ROSCADOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA CONDICIONES DE BORDE.

Tutor Académico: Prof. Ronald Torres.

Trabajo Especial de Grado. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. Año, nº 2009 Pág. (168).

Palabras Claves: Anclajes roscados, resina epóxica en pasta, concreto endurecido.

En Venezuela uno de los materiales mas usados para la construcción de estructuras es el concreto armado debido a la resistencia que puede ofrecer, por su calidad y su durabilidad.

Al transcurrir el tiempo las estructuras se van deteriorando lentamente, por ello y otras razones, es necesario que estas sean reforzadas para que puedan continuar resistiendo las cargas vivas y muertas a las que son sometidas y así poder seguir en funcionamiento, para ello se usan diversos tipos de anclajes.

Los anclajes permiten instalar una pieza de acero prefabricada en la estructura, la cual hace posible la transferencia de fuerzas y tensiones que afectan la misma posibilitando su recuperación; uno de los anclajes que se usan en Venezuela son los anclajes roscados, a pesar del desconocimiento de pautas para su instalación y de la resistencia que ofrecen.

Los anclajes roscados son barras de acero roscadas las cuales se adhieren a una pieza de concreto por medio de una resina epóxica, el proceso de instalación consiste en perforar la pieza de concreto, luego se vierte la resina epóxica para finalmente colocar la barra de acero roscada en el orificio que contiene la resina epóxica y por ultimo se espera a que la resina epóxica se seque completamente.

En este trabajo de Grado se evaluó, mediante el ensayo de tracción (Pull out), el comportamiento del anclaje roscado instalado en viguetas de concreto de diversas resistencias con resina epóxica en pasta, con la finalidad de determinar la carga máxima que soporta el sistema, adicionalmente se ensayo una vigueta de alta resistencia que fue sometida a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años. Previamente se caracterizó la resistencia a compresión del concreto y las barras roscadas por medio de un ensayo a tracción, de igual manera el epóxico a través de un ensayo de tracción (Pull out) con una profundidad de adherencia menor a la empleada en los ensayos de las barras roscadas.

Los valores de las resistencias obtenidas en el ensayo de caracterización del epóxico, permitieron hacer un ajuste de diseño calculando la longitud mínima de anclaje roscado permisible según la resistencia del concreto, para que el sistema de anclajes falle solo por cedencia del acero y no por rotura del concreto y ni no por deslizamiento del anclaje.

En general, para lograr la efectividad de la aplicación de los anclajes roscados adheridos con resina epóxica en pasta para refuerzo de estructuras, es necesario caracterizar los materiales a emplear correctamente, sabiendo las propiedades de los mismos y verificando el cumplimiento de los requerimientos exigidos en el proyecto a realizar.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.2. ALCANCE	5
I.3. APORTES	5
I.4. OBJETIVOS	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
II.1. ANTECEDENTES	7
II.2. CONCRETO	8
II.2.1. PRINCIPALES COMPONENTES DEL CONCRETO	9
II.2.1.1. Agua	9
II.2.1.2. Agregados (Arena y piedra)	9
II.2.1.2.1. Humedad	11
II.2.1.3. Cemento	12
II.2.1.3.1. Hidratación del cemento	15
II.2.1.3.2. Fraguado	16
II.2.2. RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO	16
II.2.2.1. Relación Entre Calidad del Concreto, su Composición y su Resistencia Mecánica	18

II.2.3.	COLOCACIÓN	19
II.2.4.	COMPACTACIÓN	20
II.2.5.	CURADO	21
II.3.	EVALUACIÓN DEL CONCRETO	23
II.3.1.	CONDICIONES DEL ENSAYO A COMPRESIÓN	23
II.3.2.	ONDAS ULTRASÓNICAS	24
II.4.	PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS	25
II.4.1.	MEDIA O PROMEDIO ARITMÉTICO (\bar{X})	25
II.4.2.	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	25
II.4.3.	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (v)	26
II.5.	ANCLAJES	26
II.5.1.	SISTEMAS DE ANCLAJES	26
II.5.2.	TIPOS DE ANCLAJES	28
II.5.2.1.	Anclaje de expansión de desplazamiento controlado.....	28
II.5.2.2.	Anclaje de expansión de torque controlado	28
II.5.2.3.	Anclaje rebajado	29
II.5.3.	INSTALACIÓN DE LOS ANCLAJES	31
II.5.3.1.	Disposiciones generales para la instalación de anclajes	31
II.5.3.2.	Proceso de instalación de Anclajes en Concreto	32
II.5.4.	FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ANCLAJES	34
II.5.5.	MECANISMOS DE ROTURA POR TRACCIÓN	35
II.5.6.	IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE ANCLAJES	37
II.5.6.1.	Fallas en estructuras.....	37
II.5.6.1.1.	Fisuras de flexión	38
II.5.6.1.2.	Fisuras por cortantes	38
II.5.6.1.3.	Fisuras debidas a torsión	38
II.5.6.1.4.	Refuerzo de estructuras	39

II.6. EPÓXICO	41
II.6.1. ADHESIVOS	41
CAPITULO III: METODOLOGÍA	43
III.1. SELECCIÓN DE MATERIALES	44
III.1.1. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO	44
III.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	49
III.2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS	49
III.2.1.1. Agregado Grueso	49
III.2.1.2. Agregado Fino.....	52
III.2.2. HUMEDAD	54
III.2.3. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	56
III.2.3.1. Peso específico (γ_G) y porcentaje de absorción (G) del agregado grueso	56
III.2.3.1.1. Densidad Nominal del agregado grueso (ρ)	59
III.2.3.1.2. Densidad Aparente del agregado grueso (ρ_a).....	60
III.2.3.1.3. Absorción del agregado grueso (G).....	60
III.2.3.1.4. Peso específico saturado con superficie seca del agregado grueso (γ_G)	61
III.2.3.2. Peso específico (γ_A) y porcentaje de absorción (A) del agregado fino.....	61
III.2.3.2.1. Densidad Nominal del agregado fino (ρ)	67
III.2.3.2.2. Densidad Aparente del agregado fino (ρ_a).....	67
III.2.3.2.3. Absorción del agregado fino (A)	68
III.2.3.2.4. Peso específico saturado con superficie seca del agregado fino (γ_A).....	68

III.3. DISEÑO DE MEZCLAS	69
III.3.1. RESISTENCIA (f'_{cr})	70
III.3.2. LEY DE ABRAMS	70
III.3.3. RELACIÓN AGUA CEMENTO	71
III.3.4. RELACIÓN AGUA CEMENTO	72
III.3.5. PROPORCIÓN ENTRE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	73
III.3.6. VOLUMEN DE AIRE ATRAPADO	74
III.3.7. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGUA.....	74
III.3.8. VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS	75
III.3.8.1. Dosis de arena.	76
III.3.8.2. Dosis de piedra	76
III.3.9. CORRECCIÓN POR HUMEDAD	77
III.3.9.1. AGUA DE LA MEZCLA	77
III.3.10. DOSIFICACIÓN	78
III.4. ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	79
III.4.1. MEDICIÓN DE ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS	81
III.4.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGUETAS .	84
III.4.3. ENSAYO DE ULTRASONIDO	87
III.4.4. MÉTODO DE ENSAYO A COMPRESIÓN	89
III.5. EXTRACCIÓN Y ENSAYO A COMPRESION SIMPLE DE NUCLEOS.....	91
III.5.1. EXTRACCIÓN DE NUCLEOS	91
III.5.2. ENSAYO A COMPRESION SIMPLE DE NUCLEOS	92
III.6. MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE BARRAS ROSCADAS ..	93
III.7. CALIBRACIÓN DEL GATO	96
III.8. ENSAYO DE ADHERENCIA DE LA RESINA EPÓXICA	97
III.9. ENSAYO DE EXTRACCIÓN DEL ANCLAJE DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPÓXICA	104

III.9.1. EXTRACCIÓN DE BARRA DE ACERO POR TRACCIÓN	109
III.10. AJUSTE DE DISEÑO	112
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	115
IV.1. RESULTADOS	115
IV.1.1. GRANULOMETRÍA	115
IV.1.1.1. Agregado Grueso	115
IV.1.1.2. Agregado Fino	117
IV.1.2. HUMEDAD, PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	119
IV.1.2.1. Agregado Grueso	119
IV.1.2.2. Agregado Fino	119
IV.1.3. DISEÑO DE MEZCLA Y DOSIFICACIÓN	120
IV.1.4. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN	127
IV.1.4.1. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO DE LA VIGUETAS.....	127
IV.1.4.2. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE CONCRETO.....	129
IV.1.4.3. ENSAYO A COMPRESION DE NUCLEOS	139
IV.1.4.4. TRACCIÓN DE LA BARRA ROSCADA	139
IV.1.4.5. CALIBRACIÓN DEL GATO HIDRAULCO.....	145
IV.1.4.6. ADHERENCIA DE LA RESINA EPOXICA	147
IV.1.5. ENSAYO A TRACCIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE (PULL OUT)	148
IV.1.6. AJUSTE DE DISEÑO	156
IV.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	157
IV.2.1. GRANULOMETRÍA	157
IV.2.1.1. Agregado grueso	157

IV.2.1.2. Agregado Fino	157
IV.2.2. ENSAYOS	158
IV.2.2.1. Velocidad de pulso ultrasónico	158
IV.2.2.2. Compresión de cilindros de concreto	159
IV.2.2.3. Ensayo a compresión de núcleo de vigueta expuesta al ambiente.....	159
IV.2.2.4. Tracción de barras roscadas.....	160
IV.2.2.5. Resina epóxica	160
IV.2.2.6. Ensayos a tracción del sistema de anclajes roscados (Pull out).....	161
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
V.1. CONCLUSIONES	162
V.2. RECOMENDACIONES	164
BIBLIOGRAFÍA	165
APÉNDICE	166

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Tabla II.1: Valores de M y N para \bar{R}	18
---------------------------------------------------	----

CAPITULO III: METODOLOGÍA

Tabla III.1 Kr Factor para corregir α por tamaño máx. mm (plug)	72
Tabla III.2 K _a Factor para corregir α por tipo de agregado	72
Tabla III.3 C ₁ Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (pulg.)	73
Tabla III.4 C ₂ Factor para corregir C por Tipo de agregado.....	73

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla IV.1: Datos de granulometría del Agregado Grueso	115
Tabla IV.2: Granulometría del Agregado Grueso	116
Tabla IV.3: Datos de granulometría del Agregado Fino.....	117
Tabla IV.4: Granulometría del Agregado Fino	118
Tabla IV.5: Densidad, Absorción y Peso Especifico del Agregado Grueso.	119
Tabla IV.6: Densidad, Absorción y Peso Unitario del Agregado Fino.	120
Tabla IV.7: Humedad del Agregado Fino.	120
Tabla IV.8: Datos generales usados para todas las mezclas.	121
Tabla IV.9: Datos de la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm ²	121
Tabla IV.10: Factores de corrección para la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm ²	121
Tabla IV.11: Datos calculados para dosificación de la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm ²	122

Tabla IV.12: Dosificación de la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm ²	122
Tabla IV.13: Datos de la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm ²	123
Tabla IV.14: Factores de corrección para la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm ²	123
Tabla IV.15: Datos calculados para dosificación de la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm ²	124
Tabla IV.16: Dosificación de la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm ²	124
Tabla IV.17: Datos de la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm ²	125
Tabla IV.18: Factores de corrección para la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm ²	125
Tabla IV.19: Datos calculados para dosificación de la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm ²	126
Tabla IV.20: Dosificación de la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm ²	126
Tabla IV.21: Velocidad de pulso ultrasónico en probetas de la mezcla 1 (220 Kg/cm ²).	127
Tabla IV.22: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de la mezcla 1 (220 Kg/cm ²).	127
Tabla IV.23: Velocidad de pulso ultrasónico en probetas de la mezcla 2 (250 Kg/cm ²).	127
Tabla IV.24: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de la mezcla 2 (250 Kg/cm ²).	128
Tabla IV.25: Velocidad de pulso ultrasónico en probetas de la mezcla 3 (180 Kg/cm ²).	128
Tabla IV.26: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de la mezcla 3 (180 Kg/cm ²).	128
Tabla IV.27: Velocidad de pulso ultrasónico en viga que fue sometida a flexión.	128
Tabla IV.28: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico en viga que fue sometida a flexión.	129

Tabla IV.29: Resistencia de probetas a compresión simple a los 3 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm ²).....	130
Tabla IV.30: Resistencia de probetas a compresión simple a los 7 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm ²).....	130
Tabla IV.31: Resistencia de probetas a compresión simple a los 14 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm ²).....	131
Tabla IV.32: Resistencia de probetas a compresión simple a los 21 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm ²).....	131
Tabla IV.33: Resistencia de probetas a compresión simple a los 28 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm ²).....	132
Tabla IV.34: Resistencia de probetas a compresión simple a los 3 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm ²).....	133
Tabla IV.35: Resistencia de probetas a compresión simple a los 7 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm ²).....	133
Tabla IV.36: Resistencia de probetas a compresión simple a los 14 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm ²).....	134
Tabla IV.37: Resistencia de probetas a compresión simple a los 21 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm ²).....	134
Tabla IV.38: Resistencia de probetas a compresión simple a los 28 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm ²).....	135
Tabla IV.39: Resistencia de probetas a compresión simple a los 3 días de Mezcla 3 (180Kg/cm ²).....	136
Tabla IV.40: Resistencia de probetas a compresión simple a los 7 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm ²).....	136
Tabla IV.41: Resistencia de probetas a compresión simple a los 14 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm ²).....	137
Tabla IV.42: Resistencia de probetas a compresión simple a los 21 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm ²).....	137

Tabla IV.43: Resistencia de probetas a compresión simple a los 28 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm ²).....	138
Tabla IV.44: Resistencia de los núcleos a compresión para vigueta después de ser sometida a flexión.	139
Tabla IV.45: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra1.....	140
Tabla IV.46: Datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 1.	140
Tabla IV.47: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra2.....	141
Tabla IV.48: Datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 2.	142
Tabla IV.49: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra3.....	143
Tabla IV.50: Datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 3.	144
Tabla IV.51: Calibración del Gato Hidráulico.....	146
Tabla IV. 52.: Adherencia de la Resina Epóxica al Concreto.	147
Tabla IV.53.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 180 kgf/cm ²	149
Tabla IV.54.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 220 kgf/cm ²	149
Tabla IV.55.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 250 kgf/cm ²	150
Tabla IV.56.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm ²	150
Tabla IV.57.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 180 kgf/cm ²	151
Tabla IV.58.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 220 kgf/cm ²	151
Tabla IV.59.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 250 kgf/cm ²	151

Tabla IV.60.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 275 kgf/cm ²	152
Tabla IV.61.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 180 kgf/cm ²	152
Tabla IV.62.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 220 kgf/cm ²	153
Tabla IV.63.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 250 kgf/cm ²	153
Tabla IV.64.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 275 kgf/cm ²	153
Tabla IV.65.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm ²	154
Tabla IV.66.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm ²	154
Tabla IV.67.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm ²	155
Tabla IV.68.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm ²	155
Tabla IV.69.: Resultados del Ajuste de Diseño	156

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Gráfica II.1: Leyes Básicas del Concreto	19
------------------------------------------------	----

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Grafica IV.1: Curva Granulometrica del Agregado Grueso.....	116
Grafica IV.2: Curva Granulometrica del Agregado Fino.	118
Grafica IV.3: Curva de crecimiento de resistencia de la mezcla 1 (220 Kg/cm ²).	132
Grafica IV.4: Curva de crecimiento de resistencia de la mezcla 2 (250 Kg/cm ²).	135
Grafica IV.5: Curva de crecimiento de resistencia de la mezcla 3 (180 Kg/cm ²).	138
Grafica IV.6: Esfuerzo vs deformacion unitaria de la muestra 1	141
Grafica IV.7: Esfuerzo vs deformacion unitaria de la muestra 2	143
Grafica IV.8: Esfuerzo vs deformacion unitaria de la muestra 3	145
Grafico IV.9: Curva de Calibración del Gato Hidráulico.....	146
Grafico IV.10: Grafica de Adherencia del Epóxico vs. Resistencia del Concreto.	148

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Figura II.1: Agregado Fino, arena.....	10
Figura II.2: Agregado Grueso, grava.....	10
Figura II.3: Cemento portland tipo I.....	13
Figura II.4: Cilindros en proceso de curado.....	22
Figura II.5: Anclaje trabajando por fricción/rozamiento.....	27
Figura II.6: Anclaje trajeando por sopote.....	27
Figura II.7: Anclaje trabajando por adherencia.....	27
Figura II.8: Ejemplos de anclajes de expansión de desplazamiento controlado.	28
Figura II.9: Ejemplos de anclajes de expansión de torque controlado.....	29
Figura II.10 (a): Anclaje rebajado Tipo 1: Anclaje de carga controlada que se instala traccionando el anclaje y provocando que la camisa se expanda en la muesca rebajada preperforada.	29
Figura II.10 (b): Anclaje rebajado Tipo 2: Anclaje de desplazamiento controlado que se instala en una muesca rebajada preperforada martillando la camisa sobre el cono.	30
Figura II.10 (c): Anclaje rebajado Tipo 3: Anclaje de desplazamiento controlado que se instala en una muesca rebajada preperforada tirando del cono hacia arriba y provocando que la camisa se expanda hacia la muesca.....	30
Figura II.10 (d): Anclaje rebajado Tipo 4: Anclaje de desplazamiento controlado que corta su propia muesca al ser instalado martillando la camisa sobre el cono.	30
Figura II.10 (e): Anclaje rebajado Tipo 5: Anclaje de torque controlado que se instala en una muesca preperforada aplicando torque para forzar la camisa sobre el cono (se ilustran dos ejemplos).....	31

Figura II.10 (f): Anclaje rebajado Tipo 6: Anclaje de torque controlado que corta su propia muesca al aplicar un torque de instalación que fuerza la camisa sobre el cono.	31
Figura II.11: Perforación de la pieza de concreto.	32
Figura II.12: Limpieza de la zona perforada.	32
Figura II.13: Aplicación del epóxico.....	32
Figura II.14: Introducción de la barra.	33
Figura II.15: detención de la introducción de la barra.	33
Figura II.16: retiro del útil.	33
Figura II.17: curado del epóxico.	33
Figura II.18: colocación del objeto a fijar.	34
Figura II.19: Falla por cono de concreto.....	36
Figura II.20: Falla mixta (falla por cono de concreto y por deslizamiento del anclaje).	36
Figura II.21: Falla por deslizamiento del anclaje debido a una falla del epóxico.	36
Figura II.22: Falla por rotura del acero.	37

CAPITULO III: METODOLOGÍA

Figura III.1: Almacenamiento de piedra picada y arena ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.	46
Figura III.2: Tanque de agua dispuesta para la realización de mezclas ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.	46
Figura III.3: silo almacenador de cemento ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.....	47
Figura III.4: Tanques de almacenamiento de piedra picada y arena ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.	47

Figura III.5: Piscinas dispuestas para el curado de cilindros y viguetas, ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.	48
Figura III.6: Piscina dispuesta para el curado de cilindros y viguetas, ubicado en el IMME de la Universidad Central de Venezuela.	48
Figura III.7: Muestra de agregado grueso	51
Figura III.8: Tamizadora eléctrica.	51
Figura III.9: Balanza.	52
Figura III.10: Tamices.	53
Figura III.11: Muestra húmedas de finos y gruesos en horno a 110 + 5 °C.	55
Figura III.12: Balanza Mettler P10N de carga máxima 3000 gr.	55
Figura III.13: Balanza con dispositivo inferior para suspender el recipiente.	58
Figura III.14: Colocación de muestra saturada de superficie seca de gruesos en recipiente o cesta de alambre.	58
Figura III.15: Determinación de la masa en el agua de la muestra saturada de superficie seca.	59
Figura III.16: Proceso de secado de superficie de la muestra en una hornilla a 110 + 5°C.	64
Figura III.17: Molde metálico de forma tronco-cónica de 40 + 3 mm de diámetro en su base superior, 90 + 3 mm en su base inferior y 75 + 3 mm de altura.	65
Figura III.18: Compactación de la muestra con un pequeño mazo.	65
Figura III.19: Picnómetro parcialmente lleno de agua.	66
Figura III.20: Añadidura de la muestra saturada de superficie seca en el picnómetro con agua.	66
Figura III.21: Camiones mezcladores de tambores con capacidad de 7m ³	80
Figura III.22: Moldes metálicos cilíndricos de 15cm de diámetro y 30 cm de altura.	80
Figura III.23: Moldes para viguetas rectangulares de 80 cm de largo, 15 cm de ancho y 16 cm de alto.	81

Figura III.24: Moldes y materiales para la realización del ensayo de medición de asentamiento Cono de Abrams, barra compactadora y cuchara arrocera.....	82
Figura III.25: Proceso de vaciado del cono de Abrams.	83
Figura III.26: Medición del asentamiento de la mezcla de concreto	83
Figura III.27: Limpieza de moldes y colocación de gasoil en las mismas para probetas y viguetas.....	85
Figura III.28: Vaciado y compactación con 25 golpes de una barra de acero... ..	85
Figura III.29: Enrase de probetas de concreto y viguetas.	86
Figura III.30: Desencofrado de viguetas.....	86
Figura III.31: Probetas en proceso de curado en la planta de “Rapid Concreto C.A.” ubicada en la Guaira, Estado Vargas.....	87
Figura III.32: Equipo para realización de ensayo de ultrasonido.	88
Figura III.33: Ensayo de ultrasonido.....	88
Figura III.34: Vernier con de 0,02 mm. de precisión.	89
Figura III.35: Nivel de 7”.....	90
Figura III.36: Prensa Universal de 200 Ton marca Baldwin, ubicada en el “Instituto de Materiales y Modelos Estructurales” de la Universidad Central de Venezuela.....	90
Figura III.37: Ensayo de compresión de cilindros.....	91
Figura III.38: Extracción de núcleos de vigueta.....	92
Figura III.39: Ensayo a compresión simple de nucleos	93
Figura III.40: Barras roscadas de acero SAE Grado 2 de ½” de diámetro.....	94
Figura III.41: Prensa Universal de ensayo marca Baldwin, ubicada en el “Instituto de Materiales y Modelos Estructurales” de la Universidad Central de Venezuela.....	95
Figura III.42: Ensayo de tracción de barras roscadas.	95
Figura III.43: Gato.....	96
Figura III.44: Bomba hidráulica marca Power Unit y Manómetro.....	97
Figura III.45: Resina epóxica en pasta marca Quimicon.	98

Figura III.46: Viguetas marcadas para perforación.....	99
Figura III.47: Perforación con taladro roto-percutor Hilti para caracterización del epóxico.	100
Figura III.48: Mecha de 5/8" de diámetro marcada con la profundidad de perforación deseada.	100
Figura III.49: Perforación con taladro roto-percutor Hilti para caracterización del epóxico.	101
Figura III.50: Extracción de polvo de los orificios.	101
Figura III.51: Corte de barras roscadas a 25 cm con segueta y prensa mecánica.	102
Figura III.52: Mezcla de la resina epóxica en pasta. (Componente con componente B).	102
Figura III.53: Barras roscadas de acero SAE Grado 2 de 1/2" de diámetro adheridas a viguetas para caracterización del epóxico.	103
Figura III.54: Barras roscadas de acero SAE Grado 2 de 1/2" de diámetro adheridas a viguetas para caracterización del epóxico	103
Figura III.55: Gato hidráulico, bomba hidráulica y manómetro de capacidad máxima 100 Kg/cm ²	104
Figura III.56: ordenamiento de viguetas.....	105
Figura III.57: Medición de puntos de perforación.	106
Figura III.58: Perforación de la viguetas con el taladro reto-percutor Hilti.....	106
Figura III.59: Extracción de polvo en los orificios con aire a presión.	107
Figura III.60: Ajuste barras roscadas en las perforaciones realizadas.....	107
Figura III.61: Preparación y colocación de resina epóxica.....	108
Figura III.62: Nivelación vertical del anclaje y disposición final de los anclajes	108
Figura III.63: Gato Hidráulico y Posición del gato en Sistema de Anclaje.....	109
Figura III.64: Un tipo de Falla del Sistema de Anclaje.	110
Figura III.65: Viguetas con los anclajes extraídos por Tracción.....	110

INTRODUCCIÓN

La construcción civil es un ejercicio que viene desde principios de la historia de la humanidad, por lo que en la naturaleza del hombre ha estado la búsqueda del hábitat y mejoramiento del mismo, así lo demuestran los testimonios de ruinas hallados por el hombre hasta nuestros días.

Esto pareciera dar un mensaje evolutivo, dictado por condiciones de ambiente, materiales, supervivencia y experiencias que fueron creando en el hombre aprendizajes y aspiraciones a mejorar el lugar de residencia, como implícitamente los métodos de construcción. En donde es el ensayo y error, la técnica por preferencia que el hombre ha usado para evaluar las propiedades de cualquier cosa desconocida, permitiendo levantar registros y parámetros de uso de lo dicho.

Considerando lo anterior vale preguntarse: de tantas técnicas constructivas empleadas en el ejercicio de la construcción ¿Cuales son verdaderamente fundamentadas por organizaciones rectoras de la industria de la construcción?, o mejor aun ¿Ofrecen todas las técnicas de construcción seguridad de funcionamiento, estabilidad y resistencia? En función de esto, y enfocando la sección de adecuación de estructuras civiles, se crea incertidumbre de la capacidad de resistencia del método de reforzamiento por sistemas de anclajes roscados, herramienta que en la actualidad permite corregir problemas estructurales, ayudando a la incorporación de elementos que aumente la rigidez, resistencia y durabilidad de las piezas que conforman una estructura.

En los anclajes su variedad y versatibilidad de uso, es tan variado como los casos que lo soliciten; por lo que las variables que definen la utilización de un tipo u otro van desde la disponibilidad hasta costo del anclaje.

En Venezuela, se ha acostumbrado a usar el sistema de anclajes roscados, a pesar de no haber ningún aval oficial sobre su capacidad de resistencia y método de instalación, dando apertura al juicio experimental de la construcción. Pero ¿Cuanto más puede soportar? ¿Bajo cuales condiciones? ¿Siempre son las mismas?, son preguntas a las que sus respuestas desde la perspectiva tanto ingenieril como popular se hace necesario tener conocimiento para seleccionar correctamente soluciones que no proporcionen en un futuro efectos secundarios.

En el presente trabajo de Grado, se persigue la idea de fomentar conocimientos de sólidos sobre la aplicación de esta técnica. Para ello hemos limitado la experiencia a concretos de 180, 220, 250 y 275 kgf/cm² y barras de acero SAE Gr 2 de ½" de diámetro, utilizando una profundidad de 10 cm y resina epóxica tipo pasta. El objetivo de la investigación se resume en la evaluación de la resistencia a tracción del sistema de anclaje instalado en distintos concretos.

CAPITULO I: FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el reforzamiento o reparación de estructuras, existen diferentes anclajes mecánicos que se pueden instalar en concreto endurecido, algunos de estos pueden ser: anclajes rebajados, anclajes roscados, anclajes de expansión de torque controlado, anclajes de expansión de desplazamiento, entre otros. Debido a los diversos y elevados costos, al momento de realizar un reforzamiento en una estructura, se ha buscado practicidad a la hora de su ejecución. En Venezuela, una de las herramientas utilizadas es la instalación de uno o varios anclajes roscados en una sección de concreto endurecido; esta herramienta es usada a pesar del desconocimiento de un proceso de instalación del anclaje y de la resistencia que éste puede ofrecer según su ubicación en la estructura (vigas, columnas o losas).

El sistema de conexión en el que se encuentra el anclaje (concreto-anclaje) según su instalación, produce fuerzas de tracción las cuales son una de las que reforzarán la estructura, si la resistencia del acero del anclaje no soporta las fuerzas que producirá el sistema, fallará el anclaje; si la resistencia del concreto no soporta las fuerzas que producirá el sistema, fallará el concreto, si las propiedades que ofrece la resina epóxica al momento de adherir el anclaje al concreto no soporta las fuerzas que producirá el sistema o si el diámetro del orificio donde se colocara el anclaje posee dimensiones inadecuadas, fallará produciendo deslizamiento entre el anclaje y el concreto.

En definitiva, considerando lo descrito en el párrafo anterior se hace necesario establecer las siguientes interrogantes: ¿Qué resistencia a la tracción ofrece el sistema de anclajes roscados? Si, se evaluara el mismo sistema en concretos de

distintas resistencias ¿Que diferencias de comportamiento tendrían a tracción?. Si se evaluará el mismo sistema de anclajes en una vigueta en condiciones desfavorables ¿Qué comportamiento tendría?

Debido al desconocimiento de los valores de las fuerzas producidas por el sistema de conexión, se estima realizar ensayos a tracción en un sistema de anclajes roscados instalados en viguetas de concreto endurecido con iguales dimensiones, pero resistencias distintas adheridos con resina epóxica en pasta, en una sección de influencia limitada de concreto, para la obtención de la resistencia de los mismos. Adicionalmente se realizaran ensayos a tracción en un sistema de anclaje roscado instalado en una vigueta sometida a flexión y expuesta al aire libre durante un tiempo.

En los ensayos a realizar se evaluará el comportamiento de un anclaje roscado instalado en condición de borde en un elemento de concreto en una sección de influencia limitada de la pieza. Estos ensayos se realizarán en piezas de concreto con distintas resistencias y sobre una pieza de concreto que fue afectada a flexión y expuesta al aire libre.

I.2. ALCANCE

Esta tesis sólo se refiere a anclajes de barras roscadas de acero SEA grado 2 de ½" de diámetro instalados con resina epóxica en pasta sobre concreto endurecido de diversas resistencias (180 Kg/cm², 220 Kg/cm² y 250 Kg/cm²) y en una pieza de concreto endurecido que fue sometida a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años, estos sistemas se ensayarán a tracción.

I.3. APORTES

Al no existir una norma o un proceso de instalación específico de los anclajes roscados en concreto endurecido y al no saber la resistencia que éste ofrece, se pone en riesgo la estructura que será reforzada ya que no se sabe si la instalación del anclaje proporcionará una rigidez adecuada generando a corto o largo plazo grietas o fallas, produciendo más gastos en el reforzamiento de la misma o produciendo fallas que podrían afectar de forma definitiva a la estructura.

Los resultados obtenidos de los ensayos de tracción suministrarán a universidades, instituciones y a la sociedad en general, conocimiento sobre un método de instalación de anclajes roscados en secciones de influencia limitada de concreto endurecido y la cuantificación de la resistencia que ofrece el mismo, el cual no está normado ni estandarizado, para que se pueda realizar el uso de este tipo de anclaje de forma segura.

I.4. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la resistencia a tracción que ofrece un sistema de anclajes roscados en concreto endurecido.

Objetivos Específicos

1. Obtener la resistencia a tracción del sistema de anclajes roscados instalados en viguetas de diferentes resistencias.
2. Obtener la resistencia a tracción del sistema de anclajes roscados sobre una viga que fue sometida a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años.
3. Caracterizar la resistencia a tracción del acero de las barras roscadas a usar.
4. Caracterizar la resistencia que ofrece por adherencia la resina epóxica.
5. Contrastar el comportamiento del concreto para los anclajes roscados individuales en las piezas de concreto endurecido de distintas resistencias.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En el capítulo mostrado a continuación, se describe de manera concisa los antecedentes que describen y evalúan el comportamiento de los anclajes roscados con resina epóxica en pasta, utilizados como herramienta para el refuerzo de estructuras de concreto armada, se define el concreto, sus componentes y propiedades y se describe la instalación de los anclajes roscados en piezas de concreto endurecido, con resina epóxica en pasta.

II.1. ANTECEDENTES

En Venezuela uno de los materiales más empleados al momento de construir estructuras es el concreto armado debido a su calidad, resistencia y durabilidad en el transcurso del tiempo. En algunas ocasiones es necesario reparar o reforzar las estructuras antiguas o dañadas, los anclajes son unas de las herramientas más usadas en la actualidad para el refuerzo de dichas estructuras ya que los mismos logran una transferencia de tensiones que posibilitan la recuperación estructural.

Existen diversos tipos de anclajes, la mayoría de ellos poseen pautas para su instalación dependiendo de su función y aplicación. En Venezuela los anclajes roscados instalados con resina epóxica son uno de los anclajes que se usan para el refuerzo de estructuras por su fácil disponibilidad y sencilla instalación a pesar del desconocimiento de pautas específicas de instalación y del soporte que ofrecen.

El empleo de resina epóxica en el refuerzo de estructuras ha aumentado con el tiempo, ya que ofrecen una buena adherencia tanto con el concreto como en el acero, tiene buenas características mecánicas durables a través del tiempo, una baja retracción de curado y baja sensibilidad al agua; todas estas características ayudan a disminuir acciones físicas o químicas en estructuras.

En la ACI 355 titulada “Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos para Instalar en Hormigón Endurecido”, se muestran diversos tipos de anclajes, especificaciones para su instalación, pautas de ensayos de confiabilidad, entre otros, los cuales sirven de ayuda al momento de establecer guías generales uniformes para la simplificación del proceso de selección de anclajes.

En este Trabajo de Grado se estima obtener y analizar el comportamiento de los anclajes roscados en concreto endurecido instalados con una resina epóxica en pasta de marca Venezolana, con la finalidad de tener información acerca de la instalación y soporte de este tipo de sistema.

II.2. CONCRETO

El concreto realizado con cemento Portland es el material de construcción más utilizado en el mundo, este es usado para la elaboración de edificios, puentes, túneles, represas, fábricas, pavimentos y otros.

El concreto se puede definir como una mezcla constituida por cemento, agua (los cuales forman una pasta adhesiva característica), agregados “inertes” (finos y gruesos) y a veces aditivos, todos estos en proporciones adecuadas para que al endurecerse la mezcla de concreto, se obtenga la resistencia prefijadas al momento de realizar el diseño de dicha mezcla.

II.2.1. PRINCIPALES COMPONENTES DEL CONCRETO

II.2.1.1. Agua

El agua se considerada como materia prima para la producción y el curado del concreto, el cual debe cumplir con determinadas normas de calidad (En Venezuela Normas COVENIN). Estando presente el agua en el concreto, el mismo experimenta reacciones químicas que le dan propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados.

El agua usada para realizar la mezcla está definida como la cantidad de agua por volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentre en estado fresco.

NOTA: El agua deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará asimismo exenta de arcilla, lodo y algas.

II.2.1.2. Agregados (Arena y piedra)

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. El término agregados comprende las arenas (agregados finos), gravas naturales y la piedra triturada (agregados gruesos) utilizada para preparar morteros y concretos. Las cantidades a dosificar están definidas dependido del tipo de concreto que se requiera.

El tipo, el tamaño y forma de la partícula y volumen de los agregados, influyen en sus propiedades del concreto, en la proporción de la mezcla y los costos, es por esto la limpieza, sanidad, resistencia, forma y tamaño de las partículas son importantes en cualquier tipo de agregado.

Los factores mencionados anteriormente influyen en el concreto de la siguiente forma: el tipo de agregado, el tamaño y forma de la partícula y el volumen de los agregados, influyen sobre la trabajabilidad y resistencia del concreto. El grado de limpieza contenido en los agregados finos (arcilla o limos), influyen sobre la demanda de agua necesaria para el amasado de la mezcla, afectando así la durabilidad y resistencia del concreto, también influye en la disminución del grado de adhesión del agregado con la pasta de cemento y en la fisuración de losas y pavimentos de concreto. Esto ocurre por efecto del hinchamiento de estas partículas finas en estado fresco, propiciando mayor exudación por empuje del agua hacia la superficie, y por su posterior contracción durante el fraguado y endurecimiento, originando mayor porosidad y condiciones desfavorables para la formación de fisuras en la superficie de pisos, losas o pavimento.



Figura II.1: Agregado Fino, arena.



Figura II.2: Agregado Grueso, grava.

En Venezuela existen una serie de requisitos que se deben cumplir al momento de seleccionar los agregados a usar en la mezcla, los cuales son necesarios para

asegurar una buena calidad del concreto, estos requisitos se encuentran en la siguiente norma:

- Normas COVENIN 277 “Concreto. Agregados. Requisitos”.

Con respecto a las características del tipo físico y químico, existen una serie de ensayos aplicables a los agregados, algunos de ellos se consiguen en las siguientes normas:

- Norma COVENIN 255 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.
- Norma COVENIN 256 “Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto (ensayo clororimétrico)”.
- Norma COVENIN 263 “Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”.
- Norma COVENIN 268 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción”.
- Norma COVENIN 269 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción”.
- Norma COVENIN 270 “Extracción de muestra para morteros y concretos”.

II.2.1.2.1. Humedad

Se conoce como humedad a la cantidad de agua retenida en los agregados, esta se expresa como % en peso, con respecto a los materiales secos.

La humedad se puede encontrar en los agregados en diversas formas, estas pueden ser: relleno de los poros internos de los granos de los agregados, y como una película o capa envolvente más o menos gruesa sobre las partículas de los agregados.

II.2.1.3. Cemento

Se denomina cemento a un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados gruesos (grava), agregados finos (arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, siendo su principal función la de aglutinante.

El cemento está constituido por componentes mineralógicos como silicatos y aluminatos cálcicos y otros componentes secundarios como la cal libre. El óxido de magnesio, los álcalis y el trióxido de azufre, que junto a otras características influyen de una u otra forma en sus prestaciones.

Los productos químicos en la materia prima del cemento son: Caliza, Sílica, Alúmina, Oxido de hierro.

Durante la calcinación en el horno (kiln) se producen: Silicato tricalcio (C3S), Silicato dicalcio (C2S), Aluminato tricalcio (C3A), Alúminoferrito tetracalcio (C4AF)



Figura II.3: Cemento portland tipo I

A continuación se describen algunos de los componentes principales del cemento:

- a.** Silicato Tricálcico o Alita (C3S): se puede considerar como el componente principal del cemento, ayuda a generar altas resistencias iniciales, prácticamente en una semana desarrolla el 80 % de su resistencia y después presenta una elevación lenta de las mismas. El calor de hidratación que libera en su reacción con el agua es elevado del orden de 120 calorías/gramo.
- b.** Silicato Bicálcico o Belita (C2S): componente que presenta poca resistencia en los primeros días, luego va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al C3S. Desarrolla calor de hidratación de 60 calorías/gramos.
- c.** Aluminato Tricálcico (C3A): componente que por si solo contribuye muy poco a la resistencia del cemento, en presencia del silicato tricálcico desarrolla resistencias iniciales buenas, actúa como catalizador de la reacción de los silicatos en el proceso de generación de resistencias y endurecimiento del cemento. Su hidratación es muy rápida al tener contacto con el agua, desarrollando una cantidad de calor de 207 calorías/gramos.

Para retrasar su actividad se utiliza el yeso que actúa como regulador del fraguado.

- d. Ferrito Aluminato Tetracálcico (C4AF):** componente que prácticamente no contribuye con las resistencias del cemento, su hidratación es rápida pero menor que la del C3A. Genera un desprendimiento de calor de 100 calorías/gramo. El hierro que está en la composición del C4AF, tiene gran importancia como fundente en el proceso de cocción del clinker⁷ de cemento y es responsable del color gris verdoso que poseen los cementos portland.

Cuando las cantidades presentes de los componentes secundarios superan las normas establecidas, sus efectos pueden ser negativos. Estos se encuentran en muy baja proporción en el cemento. Pueden generar expansión con riesgos de rotura de los elementos de concreto como es el caso de la cal libre, el óxido de magnesio y el trióxido de azufre; también pueden ocasionar eflorescencias, aumentar la retracción y el fraguado de morteros y concretos.

El grado de finura con la que se llegue a moler el cemento es significativo para sus prestaciones al concreto, en la medida en que un cemento más fino genera mayor superficie de contacto y en consecuencia reacciona rápidamente, aumentando las resistencias tempranas, es decir mientras más fino sea el cemento más rápida será la hidratación y habrá mayor calor de hidratación inicial, sin embargo, el cemento muy fino es más costoso de producir y puede ser dañino para la calidad del cemento.

En Venezuela generalmente se fabrica cemento Portland Tipo I, este debe cumplir con las especificaciones de calidad previstas en la Norma COVENIN 28 "Cemento. Portland Especificaciones".

II.2.1.3.1. Hidratación del cemento

Se llama hidratación del cemento a la reacción química entre las partículas del cemento y el agua, esta produce la propiedad de liga de las pastas de cemento Portland. Muchas reacciones químicas ocurren ya que el cemento tiene muchos compuestos químicos.

Los aluminatos se hidratan con mayor velocidad que los silicatos, la reacción del aluminato tricalcio con el agua es inmediata y libera mucho calor. Un elemento que se usa para retrasar la velocidad de esta reacción produciendo iones de sulfato es el yeso. El balance existente entre el aluminato y sulfato determina la velocidad de fraguado.

El cemento de fraguado normal tiene poca concentración de aluminato y sulfato. Permanece manejable por aproximadamente 45min y empieza a solidificarse entre las 2 y 4 horas. Al haber un exceso de aluminato y sulfato la manejabilidad dura aproximadamente 10 min y se solidifica entre la 1 y las 2 horas. La alta cantidad de aluminato con bajo sulfato produce un fraguado rápido (alrededor de 10 y 45 min) o un fraguado instantáneo (en un tiempo menor de 10 min). La baja cantidad de aluminato y alto sulfato produce también un fraguado instantáneo. El silicato tricalcio se hidrata más rápido que el silicato dicalcio, contribuyendo al tiempo de fraguado final y la ganancia de resistencia inicial.

Al contacto del agua con el polvo de cemento se inicia una reacción química llamada fraguado, desde la superficie hacia el centro de cada uno de los granos que constituye el cemento. A los pocos minutos se forma un coloide (gel) alrededor de cada grano; las áreas coloidales crecen y se funden en una matriz dentro de la cual quedan partículas de cemento y agua libre; la matriz va endureciendo de forma gradual y se convierte en un gel con inclusiones de

cemento sin reaccionar, agua libre, poros y cristales. Siempre que haya humedad y la temperatura ambiente, el proceso de fraguado continuará por varios años.

II.2.1.3.2. Fraguado

Se llama proceso de fraguado al fenómeno en que la pasta de cemento se rigidiza hasta que cambia de un estado plástico a sólido. Es diferente el fraguado al endurecimiento: En el endurecimiento la pasta adquiere resistencia, en el fraguado no. El fraguado se define mediante el fraguado inicial y el fraguado final. Las definiciones de fraguado inicial y final son arbitrarias. Si el cemento está expuesto a humedad cuando está almacenado, puede ocurrir un falso fraguado, en el cual el cemento se rigidiza a los pocos minutos de empezar la mezcla.

II.2.2. RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO

El concreto, en una estructura, se encuentra sometido a solicitaciones muy variadas (corte, tracción, flexo tracción, etc.). Se ha establecido la costumbre de realizar el ensayo destructivo a compresión simple, sobre probetas normalizadas y a inferir, a partir de sus resultados, los valores de otras características mecánicas tales como resistencia a la tracción, al corte, etc., debido a que no es práctico llevar a cabo ensayos de control que analicen todos esos estados tensionales encontrados en las estructuras.

Las normas de cálculo de estructuras de concreto ofrecen relaciones de tipo empírico que correlacionan la resistencia del concreto bajo los diversos estados de sollicitación, con el valor de la resistencia a compresión simple. La conocida Ley de Abrams es la ley que relaciona las resistencias del concreto y la composición de su mezcla. Según esta ley, la resistencia del concreto depende primordialmente de

la proporción entre el agua de mezclado y el cemento presente en la mezcla, cuya expresión se expresa con la letra griega “ α ” y definida como:

$$\alpha = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} \quad (\text{Ecuación II.1})$$

Para determinados componentes de la mezcla, manteniendo el tamaño máximo y las mismas condiciones de preparación, de ensayo y de edad, se establece una expresión algebraica, suficientemente exacta a los efectos prácticos, que relaciona el valor de la resistencia con el valor α , en la siguiente forma:

$$\bar{R} = \frac{M}{N^\alpha} \quad (\text{Ecuación II.2})$$

Donde:

\bar{R} : Resistencia promedio.

M y N : Constantes.

α : Relación agua cemento, en peso.

Los valores de M y N dependerán de los parámetros que condicionan la relación, la edad del concreto, el tipo y calidad del cemento, las características de los agregados y los aditivos presentes. Para cementos Portland Tipo I con agregados gruesos triturados y arena natural y sin aditivos los valores de M y N se expresan en la *Tabla II.1*.

Tabla II.1: Valores de M y N para \bar{R}

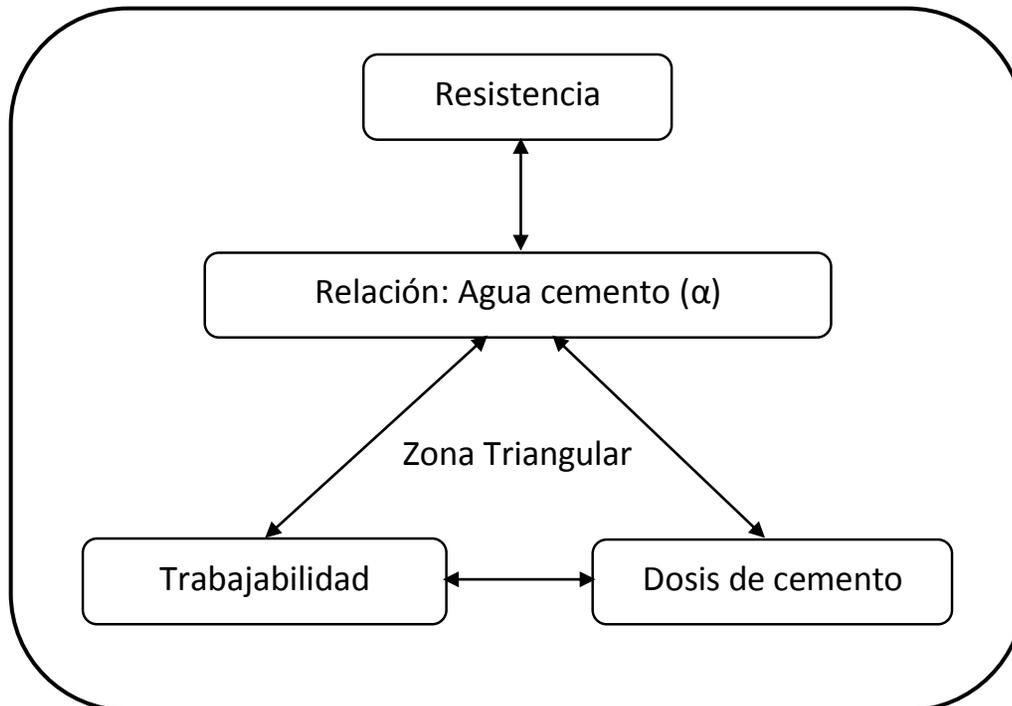
	M para R Expresado		N para R Expresado	
	Mpa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
R₇	84,5	861,3	1,28	13,1
R₂₈	88,5	902,5	0,85	8,69
R₉₀	95,4	973,1	0,76	7,71

Fuente: Los Valores de M y N en Kg/cm² fueron tomados del "Manual de concreto estructural", pág. 136. (Romero R., Porrero J.)

Para poder aplicar la Ley de Abrams se presupone que el concreto ha sido debidamente compactado y curado, sin agujeros y vacíos internos de gran importancia.

II.2.2.1. Relación Entre Calidad del Concreto, su Composición y su Resistencia Mecánica

Las propiedades del concreto dependen de las características y proporciones de sus componentes. De esta manera, para obtener variaciones de calidad del concreto sólo es necesario modificar una de sus variables para así obtener las características deseadas del concreto. La *Gráfica II.1* muestra como se enlazan todas esas características.

Gráfica II.1: Leyes Básicas del Concreto

Fuente: "Manual de Concreto Estructural", Pág. 169. (Romero R., Porrero J.).

II.2.3. COLOCACIÓN

Luego de la elaboración de la mezcla de concreto, la misma se traslada al lugar en el que se encuentran los moldes, los cuales deberán estar libres de suciedades o rebordes que impidan el perfecto arreglo en los moldes, y se procese a vaciar la mezcla en dichos moldes en tres partes, primero a un tercio de la altura del cilindro o vigueta, luego de realizar el vibrado de la capa vaciada se agrega otro tercio de la altura y se vibra, por último se vacía el último tercio y se procede a vibrar la última capa vaciada. A los moldes se les debe haber colocado con anterioridad el desencofrante (aceite o gasoil).

II.2.4. COMPACTACIÓN

La compactación o consolidación del concreto es la operación por medio del cual se trata de densificar la masa, todavía blanda reduciendo a un mínimo la cantidad de vacíos. Estos vacíos en la masa provienen de varias causas, de las cuales las dos más importantes son el llamado aire atrapado, y las vacuolas producidas por la evaporación de parte del agua de amasado.

Después de que el concreto ha sido mezclado, transportado y colado, contienen aire atrapado en forma de vacíos. El objeto de la compactación es eliminar la mayor cantidad posible de este indeseable aire; lo ideal es reducirlo a menos del 1 %, (por supuesto, esto no procede cuando hay inclusión deliberada de aire, pero en este caso, el aire es estable y está distribuido uniformemente).

El aire atrapado es consecuencia inevitable del manejo de la propia masa blanda de concreto que, al ser mezclada, transportada y colocada, incorpora estos volúmenes de aire en su interior.

Es importante extraer este aire atrapado (vacíos) por las siguientes razones:

- a.** Los vacíos reducen la resistencia del concreto. Por cada 1 % de aire atrapado, la resistencia se reduce en un 5 ó 6 %.
- b.** Los vacíos incrementan la permeabilidad que, a su vez, reduce la durabilidad. Si el concreto no es compacto e impermeable, no será resistente al agua, ni capaz de soportar líquidos más agresivos, además de que cualquier superficie expuesta sufrirá más los efectos de la intemperie y aumentará la probabilidad de que la humedad y el aire lleguen al acero de refuerzo y causen corrosión.

- c. Los vacíos reducen el contacto entre el concreto y el acero de refuerzos y otros metales ahogados; por lo que no se obtendrá la adherencia requerida y el elemento reforzado no será resistente como debiera.
- d. Los vacíos producen defectos visibles, como cavidades y alveolado en las superficies trabajadas.

El concreto completamente compacto será denso, resistente, durable e impermeable. El concreto mal compactado será débil, poco durable, alveolado y poroso; en otras palabras bastante ineficaz.

El método de compactación se debe seleccionar en base al asentamiento, a menos que el mismo se establezca especialmente en las especificaciones bajo las cuales se ejecuta el trabajo. Los métodos son: con barra y vibrado. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibrado, si el asentamiento está entre 25 mm (1") a 75 mm (3") se puede usar cualquiera de los dos métodos, siendo preferible el método usado en la obra y si es mayor que 75 mm (3") debe usarse el método de la barra el cual se encuentra en la Norma COVENIN 338: 1994 "Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto".

II.2.5. CURADO

El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera se cumpla con las reacciones de hidratación del cemento propias de los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto. El curado comienza inmediatamente después del vaciado (colado) y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada.

La reacción química entre el cemento y el agua requiere tiempo y buenas condiciones de humedad y temperatura. Se debe mantener húmedo el concreto y se debe proteger de temperaturas extremas al menos durante 7 días contados desde su colocación, según la Norma Venezolana COVENIN 1753-85 “Estructuras de Concreto Armado Análisis y Diseño”, inmediatamente después de la colocación y compactación del concreto, debido a que ocurre la evaporación del agua superficial del mismo que puede degenerar en la formación de grietas que hacen al concreto vulnerable ante agentes agresivos.

Mediante el curado se logra mejorar las resistencias mecánicas, se gana impermeabilidad, aumento de la resistencia al desgaste y la abrasión y se logra mayor durabilidad.

Es recomendable el riego directo unas dos veces al día, o colocarle fundas de papel o plásticos mojados, los cuales deben mantenerse húmedos mediante riego. En el caso de cilindros y viguetas a ser ensayados, debido a su tamaño, se recomienda sumergirlos el agua para que el proceso de curado se cumpla de forma completa. (Ver Figura II.4).



Figura II.4: Cilindros en proceso de curado

II.3. EVALUACIÓN DEL CONCRETO

II.3.1. CONDICIONES DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

En una determinada pieza de concreto la resistencia se determina al conocer el promedio de los valores de los ensayos válidos sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. Para que el valor en el ensayo pueda ser tomado como referencia base, se deben cumplir todos los procedimientos descritos en la Norma COVENIN 338. “Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concretos”. Los procedimientos necesarios para los ensayos requeridos son los siguientes:

- a. **Velocidad de Carga:** Según el tipo de prensa que se use, una de los puntos más importante es la verificación de las velocidades de aplicación de la carga. Las velocidades de aplicación mayores a las normalizadas producen resultados de resistencias mayores y las velocidades de aplicación menores de carga producen menores resistencias.
- b. **Aplicación Axial de la Carga:** si el eje del cilindro no queda perpendicular a los planos de aplicación de la carga, lo que puede ocurrir cuando la cabezota móvil de la prensa no se ajusta con libertad a la cara lisa del remate “capping,” entonces la línea de aplicación de carga no coincide con la dirección del eje, en este caso el resultado del ensayo es mucho menor del normalizado, dependiendo su disminución del valor del ángulo entre ambas líneas, con desviaciones de escasísimos grados se reduce entre el 30 % y 50 %.
- c. **Colocación de Remates de Azufre:** las caras planas del cilindro deben ser totalmente lisas y paralelas, y deben respetar las tolerancias establecidas en la Norma. Esto se logra colocando capas moldeadas de cierto espesor ,

con una preparación en base a compuestos de azufre. La ausencia de estos remates, con la siguiente aplicación de la carga sobre la cara desnuda del concreto, siempre hace que los resultados obtenidos sean menores a los normalizados, llegando a perder hasta un 30% para irregularidades no muy pronunciadas.

- d. **Tamaño de Probetas:** El tamaño de las probetas utilizadas son de 15x30 cm, que son las normalizadas.

II.3.2. ONDAS ULTRASÓNICAS

Para la ejecución del ensayo de ultrasonido, se deben seguir los pasos encontrados en la COVENIN 1976:2003. "Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayos". Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un impulso ultrasónico en atravesar la probeta de concreto que se está evaluando. La técnica utilizada consiste en colocar, en las dos caras opuestas de la probeta o vigueta a estudiar y enfrentados, el emisor y el receptor de las ondas ultrasónicas. Ambos terminales deben establecer excelente contacto con las superficies planas del concreto, evitando vacíos intermedios, para ello, se les debe administrar una capa de vaselina. El dispositivo al cual los terminales están conectados por interferencia electrónica indica el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la onda. Al dividir la distancia recorrida entre el tiempo transcurrido por el pulso se obtiene la velocidad característica del material.

Al realizar el ensayo con el ultrasonido se deberán cumplir los siguientes aspectos:

- El aparato de ensayo debe estar estrictamente calibrado y usarse en la correspondiente escala de apreciación.
- Los palpadores deben estar en perfecta oposición al momento de ser usado.

Se relacionará la Velocidad del pulso ultrasónico con la resistencia a compresión directamente con la gráfica experimental de velocidad contra resistencia a compresión.

II.4. PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS

Para el control de calidad del concreto, la estadística es una herramienta útil disponible, tanto para planificar como para interpretar los resultados obtenidos de los ensayos. No obstante estas tienen que basarse en criterios de otra índole, ya que esta no toma decisiones.

II.4.1. MEDIA O PROMEDIO ARITMÉTICO (\bar{X})

Es la tendencia central del valor de los resultados de los ensayos o datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad \text{ó} \quad \bar{\mu} = \frac{\sum_i^n \mu}{n} \quad (\text{Ecuación II.3})$$

Donde:

\bar{X} : Para la muestra.

$\bar{\mu}$: Para el universo.

II.4.2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)

Se conoce como la dispersión del conjunto de datos alrededor del valor medio, es el parámetro estadístico más representativo al respecto (independiente del número de datos). Dos fórmulas adecuadas para su cálculo son las siguientes:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (\text{Ecuación II.4})$$

Donde:

S : Desviación estándar.

n : Números de ensayos.

II.4.3. COEFICIENTE DE VARIACIÓN (v)

Es la relación de la desviación estándar y la media, expresada usualmente en forma porcentual.

$$v = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación II.5})$$

Donde:

v : Coeficiente de variación.

S : Desviación estándar.

II.5. ANCLAJES

II.5.1. SISTEMAS DE ANCLAJES

En multitud de ocasiones en los trabajos de edificación o de obra de civil, es necesario sustentar o apoyar diversas construcciones metálicas (como escaleras), en otros elementos resistentes (pilares, vigas, etc). Esta unión se puede realizar dejando elementos embebidos en el concreto o colocándolos a posteriori.

Las tres maneras fundamentales en la que los anclajes trabajan son:

- a. *Fricción/rozamiento*: la fuerza de tracción N , se transfiere al material base por fricción R . (Ver Figura II.5).

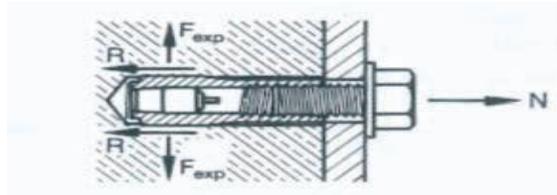


Figura II.5: Anclaje trabajando por fricción/rozamiento.

- b. *Por soporte*: Se adaptan al material de diferentes modos. Unos de los modos pueden ser que horanda el material y trabajan como un “embebido”. (Ver Figura II.6).

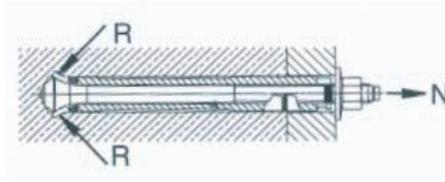


Figura II.6: Anclaje trabajando por soporte

- c. *Por adherencia*: La varilla del anclaje y la pared del taladro están unidas mediante la adherencia. La transmisión de cargas, se distribuye a lo largo del anclaje con menor presión sobre el material base. (Ver Figura II.7).

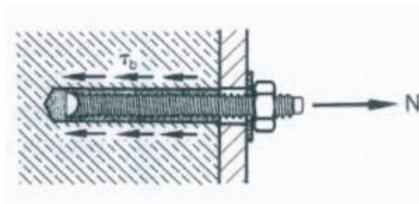


Figura II.7: Anclaje trabajando por adherencia.

II.5.2. TIPOS DE ANCLAJES

II.5.2.1. Anclaje de expansión de desplazamiento controlado

Anclaje instalado en hormigón endurecido que deriva su resistencia a la tracción por expansión contra los lados del orificio perforado por movimiento de un tapón interno en su camisa o por movimiento de la camisa sobre un elemento de expansión (tapón) (Ver Figura II.8). Una vez instalado ya no puede ocurrir expansión adicional.

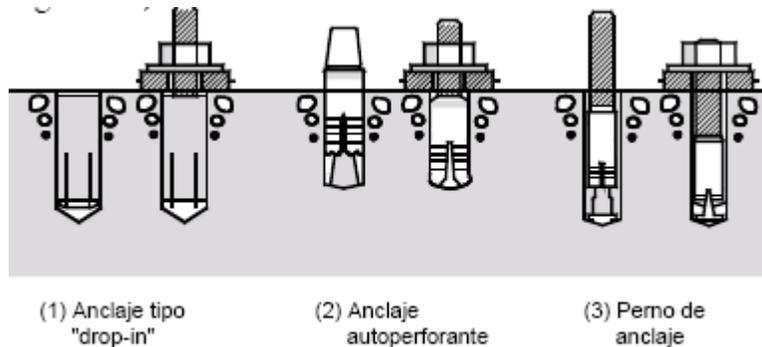


Figura II.8: Ejemplos de anclajes de expansión de desplazamiento controlado.

II.5.2.2. Anclaje de expansión de torque controlado

Anclaje de expansión instalado en hormigón endurecido que deriva su resistencia a la tracción de la expansión de una o más camisas u otros elementos contra los lados del orificio perforado mediante la aplicación de torque, que tira el cono o los conos hacia la camisa o las camisas de expansión (Ver Figura II.9). Una vez instalado la carga de tracción puede provocar una expansión adicional.

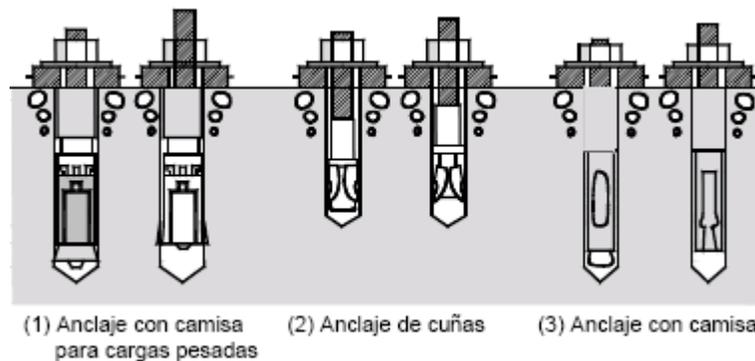


Figura II.9: Ejemplos de anclajes de expansión de torque controlado.

II.5.2.3. Anclaje rebajado

Anclaje instalado en hormigón endurecido que deriva su resistencia a la tracción gracias a la trabazón mecánica proporcionada por una muesca rebajada en el hormigón, la cual se materializa utilizando una herramienta especial o bien es cortada por el propio anclaje durante su instalación (Ver Figura II.10).

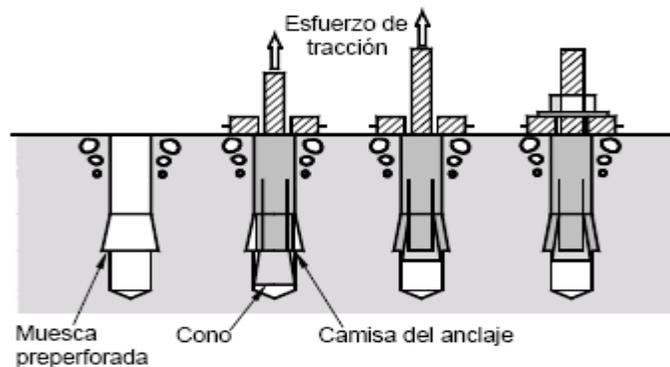


Figura II.10 (a): Anclaje rebajado Tipo 1: Anclaje de carga controlada que se instala traccionando el anclaje y provocando que la camisa se expanda en la muesca rebajada preperforada.

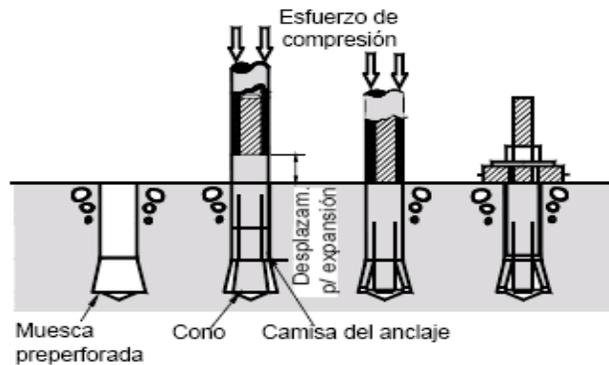


Figura II.10 (b): Anclaje rebajado Tipo 2: Anclaje de desplazamiento controlado que se instala en una muesca rebajada preperforada martillando la camisa sobre el cono.

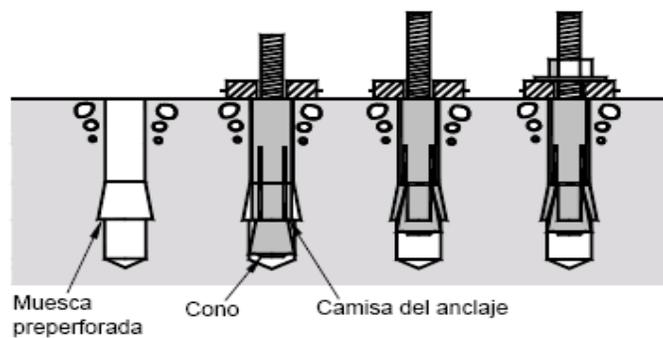


Figura II.10 (c): Anclaje rebajado Tipo 3: Anclaje de desplazamiento controlado que se instala en una muesca rebajada preperforada tirando del cono hacia arriba y provocando que la camisa se expanda hacia la muesca.

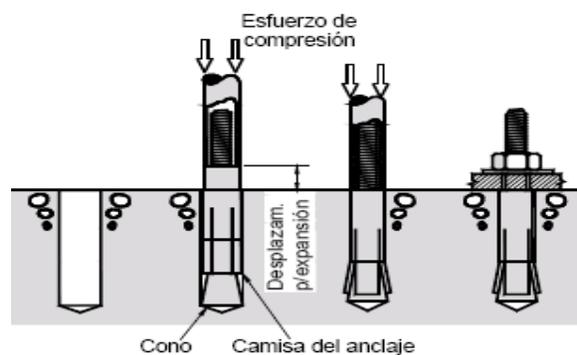


Figura II.10 (d): Anclaje rebajado Tipo 4: Anclaje de desplazamiento controlado que corta su propia muesca al ser instalado martillando la camisa sobre el cono.

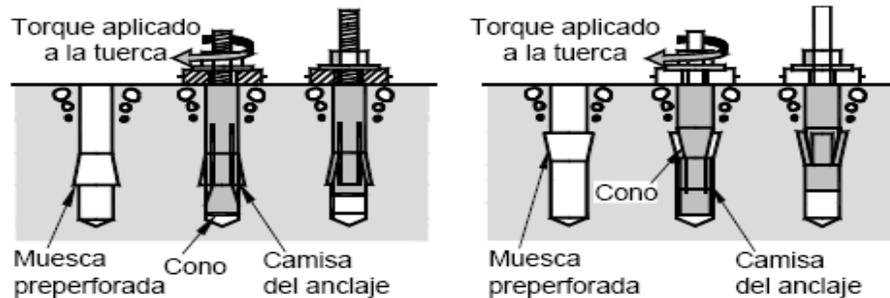


Figura II.10 (e): Anclaje rebajado Tipo 5: Anclaje de torque controlado que se instala en una muesca preperforada aplicando torque para forzar la camisa sobre el cono (se ilustran dos ejemplos)

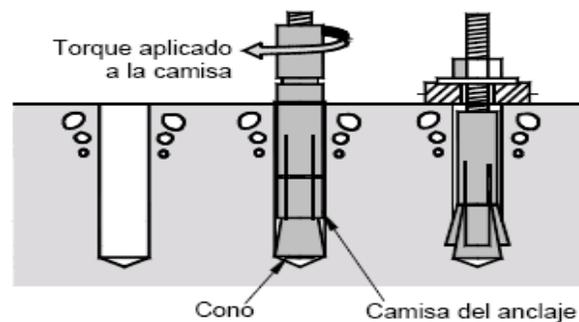


Figura II.10 (f): Anclaje rebajado Tipo 6: Anclaje de torque controlado que corta su propia muesca al aplicar un torque de instalación que fuerza la camisa sobre el cono.

II.5.3. INSTALACIÓN DE LOS ANCLAJES

II.5.3.1. Disposiciones generales para la instalación de anclajes

- Los anclajes se deberán instalar de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Cualquier desviación deberá ser informada.
- Se deberán instalar los anclajes en una cara del hormigón encofrada, o bien en hormigón acabado con llana de acero.

- No se deberán modificar los componentes del anclaje de los cuales dependerá su comportamiento. Los bulones, tuercas y arandelas no provistos junto con los anclajes deberán satisfacer las especificaciones provistas por el fabricante, y estas especificaciones se deberán incluir en el informe de evaluación.

II.5.3.2. Proceso de instalación de Anclajes en Concreto

- a. Se hace una perforación en la pieza de concreto endurecido con un taladro con la mecha de tamaño adecuado. (Ver figura II.11).

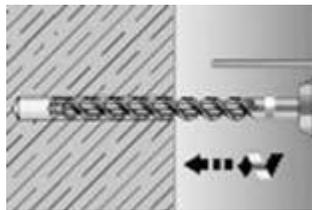


Figura II.11: Perforación de la pieza de concreto.

- b. Se limpia la zona del orificio perforado (Ver Figura II.12).

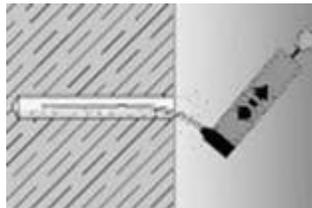


Figura II.12: Limpieza de la zona perforada.

- c. Se aplica el epóxico en la zona perforada (Ver Figura II.13).

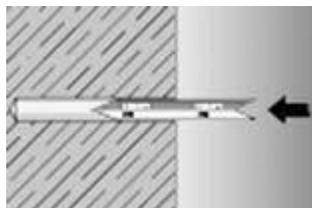


Figura II.13: Aplicación del epóxico.

- d. Se inserta la varilla con el útil en condición de rotopercusión (Ver Figura II.14).

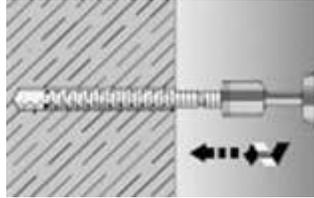


Figura II.14: Introducción de la barra.

- e. Se detiene la rotopercusión segundos después que la marca de la varilla este ha nivel de la perforación. (Ver Figura II.15).



Figura II.15: detención de la introducción de la barra.

- f. Se retira el útil cuidadosamente. (Ver Figura II.16).

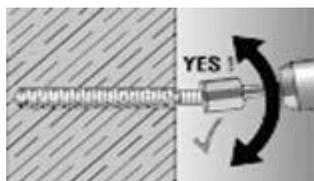


Figura II.16: retiro del útil.

- g. Se espera el tiempo de curado del epóxico sin aplicar esfuerzos. (Ver Figura II.17).

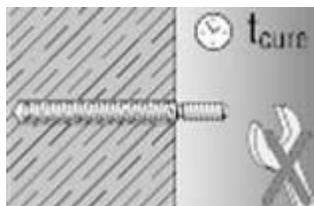


Figura II.17: curado del epóxico.

- h. Se coloca el elemento a fijar y se aplica el torque de instalación. (Ver Figura II.18).

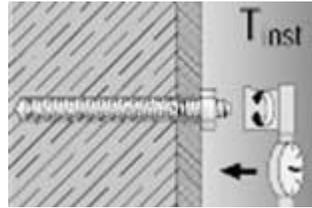


Figura II.18: colocación del objeto a fijar.

II.5.4. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ANCLAJES

- Características del material base: en función del tipo de material y su resistencia tendremos que recurrir a unos anclajes u otros. El material base es el que va recibir las cargas, por tanto su caracterización mecánica es fundamental, cuanto mejor sea el material, mayores tensiones podrá soportar.

En construcción, el material habitual de trabajo es el hormigón (Concreto endurecido). En el caso de que el material sea hormigón, es necesario saber si la zona donde se va a colocar el anclaje, se encuentra traccionada o comprimida.

El hormigón traccionado presenta características diferentes al comprimido, por lo que a efectos de cálculo habrá que tener esto en cuenta para el diseño de una fijación segura.

Otro material a considerar es la placa de acero a fijar, es importante que el espesor sea suficiente para asegurar una rigidez de ésta que permita suponer que la carga se reparta uniformemente.

- Características del acero
- Características de la resina
- Geometría del material: cuanto mayor sea la cantidad de materia que rodea al anclaje mayor será la carga que pueda transmitir. La falta de material se puede producir por varios motivos:
 - a. Cercanía del anclaje a un borde libre de hormigón.
 - b. Profundidad de la zona donde anclamos.
 - c. Discontinuidades en el material base.

Debido a esto es necesario respetar las distancias consideradas en el cálculo y las mínimas recomendadas tanto a bordes como a discontinuidades del material.

- Distancia entre anclajes: a medida que los anclajes se van cargando vamos aumentando la presión sobre la zona de material base afectada. En el caso de tener anclajes próximos, estas zonas se solapan, provocando una mayor sobrecarga sobre el material base. De esta forma en función de la distancia, la carga que puede transmitir el anclaje se reduce en una proporción mayor cuanto menor sea ésta.

Por tanto hay que respetar las distancias de cálculo entre anclajes, mejor cuanto más grandes y obtener una fijación más resistente.

II.5.5. MECANISMOS DE ROTURA POR TRACCIÓN

- a. Por falla de la pieza de concreto en forma de cono cuya altura es mayor a la profundidad del acero incrustada. (*Ver Figura II.19*).

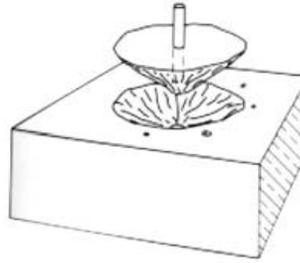


Figura II.19: Falla por cono de concreto.

- b. Por falla mixta, la cual es una mezcla de falla de la pieza de concreto en forma de cono cuya altura es menor a la profundidad del acero incrustada y falla por deslizamiento del anclaje debido a una falla del epóxico. (Ver *Figura II.20*).

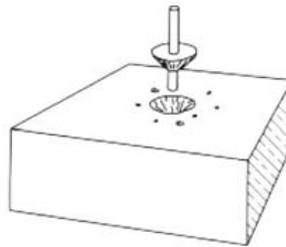


Figura II.20: Falla mixta (falla por cono de concreto y por deslizamiento del anclaje).

- c. Por deslizamiento del anclaje debido a una falla del epóxico. (Ver *Figura II.21*).

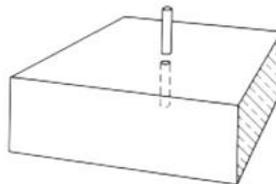


Figura II.21: Falla por deslizamiento del anclaje debido a una falla del epóxico.

- d. Por rotura del acero debido a que el esfuerzo aplicado sobrepasa el esfuerzo máx. que soporta la barra. (Ver *Figura II.22*).

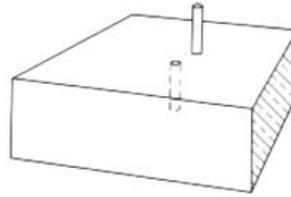


Figura II.22: Falla por rotura del acero.

II.5.6. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE ANCLAJES

Se aplica a los anclajes mecánicos para instalar en concreto endurecido que se han de utilizar en aplicaciones estructurales y solicitados por cargas estáticas o sísmicas de tracción, corte o combinaciones de tracción y corte. Se anticipa que los anclajes soportarán sus cargas de diseño (tracción, corte, o combinaciones de tracción y corte) y simultáneamente proporcionarán una rigidez adecuada.

II.5.6.1. Fallas en estructuras

Las estructuras pueden fallar por diversas razones ya sea en vigas, columnas o losas. Las fallas en las estructuras producen fisuras que con el tiempo pueden causar daños significativos restringiendo la capacidad de soporte de la misma, estas fisuras las podemos encontrar como: fisura de flexión, fisura de cortante ó fisuras debidas a torsión.

II.5.6.1.1. Fisuras de flexión

Las *fisuras de flexión* se presentan a través del tiempo de una forma lenta en la armadura, se alargan de forma vertical hacia el eje neutro y luego toman una forma curva buscando el punto de aplicación de la carga. Al figurarse una viga por flexión aparecen diversas fisuras cercanas las unas con las otras, sobre todo si se ha empleado acero de alta adherencia. Estas fisuras aparecen bajo carga y desaparecen al equilibrar dichas cargas. Son perpendiculares al eje de la pieza, deteniéndose en la fibra neutra ó propagándose de forma inclinada respecto a la pieza según el valor del esfuerzo cortante.

II.5.6.1.2. Fisuras por cortantes

Las *fisuras por cortantes* pueden presentarse en el alma de la viga, progresando hasta la armadura y llegando hasta el punto donde se encuentra aplicada la carga, dividiendo la viga en dos partes. Esta fisura se genera en un proceso relativamente rápido lo cual es peligroso ya que si no se observa la falla a tiempo las consecuencias podrían ser peligrosas.

II.5.6.1.3. Fisuras debidas a torsión

Las *fisuras debidas a torsión* aparecen inclinadas cuando hay una concentración excesiva de ganchos de anclaje en una misma sección, generalmente suelen confundirse con fisuras deflexión. En estos casos se produce un desgarramiento del concreto en forma de fisura a 45° , debido a que los esfuerzos de anclaje que aparecen en esta sección son excesivos. En el proyecto se evita este defecto separando los ganchos de anclaje, o bien envolviéndolos con barras finas transversales que causan la grieta causada.

II.5.6.1.4. Refuerzo de estructuras

Las estructuras se pueden reforzar con cualquiera de las siguientes opciones:

- a. *Incrementando las secciones transversales:* Una viga puede ser reforzada agregando una capa de concreto en la zona comprimida, o en la zona traccionada, agregando acero de refuerzo adicional; siendo la última alternativa la más favorable, ya que el peso propio es menor.

Para las columnas se aplica un método similar al anterior, como primera alternativa se incrementa el área de concreto, agregando nuevas barras longitudinales y ligaduras.

Otra opción es darle a la columna un confinamiento adicional mediante la colocación de anillos o barras zunchadas exteriores, cada anillo posee un anclaje lateral a partir del cual se ejercen fuerzas de postensado.

Este confinamiento también puede lograrse a través de la colocación de planchas, bordeando todo el perímetro de la columna en la altura requerida, estas planchas son fijadas a la masa de concreto mediante pernos colocados en huecos perforados y rellenos con mortero epoxi de baja retracción.

- b. *Recubriendo parte de la estructura con láminas de acero:* Aplicado cuando una estructura presenta deterioro debido al paso del tiempo, aumento imprevisto de las cargas actuantes, cambios de uso, insuficiente capacidad portante.

Si se utilizan pernos:

- b.1.** La superficie debe ser golpeada con un martillo neumático liviano de punta aguda para eliminar las partículas desprendidas y lograr caras más rugosas.
- b.2.** Se recomienda detectar la posición de las barras de refuerzo para no correr el riesgo de perforarlas.
- b.3.** Se colocan las planchas apuntaladas sin adhesivo epóxico.
- b.4.** Se taladran los huecos en la masa de concreto.
- b.5.** Se llenan los huecos con resina epoxi y se introducen los pernos en estos.
- b.6.** Entra la plancha y la superficie de concreto queda una separación, la cual hay que cubrir con adhesivo epoxi, mediante una bomba hidráulica.
- b.7.** Se colocan unas mangueras tanto en la parte superior como en la inferior de la plancha que penetre en la separación, para que uno sirva como tubo de inyección y el otro como tubo de ventilación, cuando el flujo de la pega no muestre ningún burbujeo por el tubo de ventilación significa que ya se ha llenado de pega totalmente la separación entre el elemento y la lamina. Se procede a taponear la manguera superior, para evitar derrames. Luego que el pegamento ha secado se cortan ambos tubos.
- b.8.** Se aplica una capa de pintura anticorrosivo a todo el conjunto.

II.6. EPÓXICO

Las Resinas Epoxi o poliepóxido son productos obtenidos a partir del bisfenol A y la epiclorhidrina, destinados a coladas, recubrimientos, estratificados, encapsulados, prensados, adhesivos y otras aplicaciones de consolidación de materiales. Son polímeros termoestables que se endurecen cuando se mezclan con un agente catalizador o "endurecedor". Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol A.

Los epóxicos son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería el grupo incluye el poliuretano, acrílico y cianoacrílico. Estos adhesivos se utilizan en la construcción de aviones, automóviles, bicicletas y esquíes. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

En general, si el secado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, será más resistente al calor y a los agentes químicos que si se seca a temperatura ambiente. La resistencia a la tracción de este tipo de adhesivos puede llegar a superar los 350 kg/cm², lo que les convierte en el adhesivo más resistente del mundo.

II.6.1. ADHESIVOS

Un adhesivo es una sustancia no metálica, que puede unir diversos materiales entre sí por pegado superficial (adhesión), de tal manera que dicha unión tenga suficiente firmeza interna (cohesión).

Las resinas epoxídicas son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería el grupo incluye el poliuretano, acrílico y cianoacrilato. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

Si el secado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, será más resistente que si se seca a temperatura ambiente. La resistencia a la tracción de este tipo de adhesivos puede llegar a superar los 350 Kg/cm², lo que les convierte en el adhesivo más resistente del mundo.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

En estructuras de concreto suelen aparecer fallas en vigas, columnas y losas, las cuales requieren de refuerzos, estas fallas pueden presentarse por diversos motivos, normalmente pueden ocurrir en el cálculo de la estructura de un proyecto o en la ejecución del proyecto. Las fallas en las estructuras producen fisuras.

La reparación de estas fallas en las vigas actualmente se realizan empleando anclajes en el la zona de la estructura afectada uniéndolos con un epóxico, estos anclajes resultan costosos; debido a esto se ha recurrido a emplear un método sustituto de estos anclajes, el cual consiste en la colocación de pernos roscados en las piezas de concretos afectadas incrustándolas en las mismas y uniéndolas con un epóxico.

No obstante, se desconoce un método de instalación normado y la resistencia que este sistema podría dar, en base a lo comentado se realizarán diversos ensayos para evaluar el sistema de anclajes roscados en concreto endurecido y la resistencia que ofrece el mismo a tracción para diferentes casos.

En este Trabajo Especial de Grado, se efectuaran ensayos a tracción de anclajes roscados adheridos a piezas de concreto con resina epóxica. Las piezas a usar serán viguetas de concreto de diversas resistencias las cuales serán de: 180 Kg/cm², 220 Kg/cm² y 250 Kg/cm². Para cada tipo de mezcla se realizaran ensayos de compresión a cilindros realizados con dichas mezclas para verificar la resistencia de cada una a los 3, 7, 14, 21 y 28 días. Adicionalmente se efectuaran ensayos a tracción de anclajes roscados adheridos con resina epóxica en una vigueta de 272 Kg/cm² que fue sometida a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años.

Para la ejecución de los ensayos, se utilizará un solo tipo de acero, barras roscadas de acero carbón SAE de grado 2 de ½” de diámetro y un tipo de resina epóxica (Resina epóxica en pasta).

III.1. SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la elaboración de las mezclas de concreto utilizadas en las viguetas y en los cilindros a ensayar, fue necesario caracterizar los materiales empleados, puesto que las resistencias proyectadas dependían en gran medida de sus propiedades.

Para la elaboración del ensayo a tracción de anclajes roscados en una vigueta en condiciones desfavorables, se tomó una vigueta que fue sometida a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años, perteneciente al Trabajo de Grado de la Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, titulada “Caracterización de las barras reforzadas de fibra de vidrio como refuerzo del concreto armado” de Guillan Damni y Domínguez Alexander.

III.1.1. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

La presente investigación contó con la colaboración de la premezcladora “*Rapid Concreto C.A.*”, ubicada en La Guaira, Estado Vargas, esta suministro los materiales (agregados gruesos y finos, cemento y agua) para la realización de las mezclas, como también el uso de la maquina mezcladora, con el fin facilitar el proceso de preparación de las pastas. Los moldes de los cilindros y de las viguetas fueron suministrados por el “*Instituto de Materiales y Modelos Estructurales*” (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

El cemento empleado para la realización de las mezclas fue “Cemento Portland tipo I”, el cual fue suministrado a la premezcladora “*Rapid Concrete*” por la planta cementera “*Cemex*”. Por otra parte los agregados gruesos provinieron de la cantera “*Piedra Maracay*” ubicada en Tacagua y los agregados finos de “*Puente Arena*” ubicada en Aragüita.

En la planta había montículos de piedra picada, canto rodado y arena almacenados para ser usados en las mezclas de concreto (*Ver Figura III.1*); también habían tanques de agua dispuesto para las mezclas (*Ver Figura III.2*), una maquina que poseía un silo almacenador de cemento (*Ver Figura III.3*) y dos tolvas o tanques almacenamiento de arena y piedra picada (*Ver Figura III.4*), de estas tolvas se distribuían simultáneamente las cantidades necesarias de los materiales para la mezcla a realizar (estas cantidades dependían de la resistencia del concreto requerida), estas eran calculadas con anterioridad y programadas en una computadora que controlaba la maquina la cual iba liberando los materiales en una cinta transportadora que llevaba los mismos al camión mezclador donde al llegar a ese punto se vertía junto con el cemento, faltando solo el agua, el cual era agregada por el conductor. En la planta también habían piscinas de curado para los cilindros y viguetas (*Ver Figura III.5*), las mismas fueron almacenadas en estas piscinas después del desencofrado, a los 3 días fueron trasladados un grupo de cilindros al “*Instituto de Materiales de Modelos Estructurales*” de la Universidad Central de Venezuela, para la realización del primer ensayo a compresión y a los 7 días fueron trasladados los cilindros restantes al Instituto para ser almacenados en una piscinas de curado y luego realizar las prueba de compresión pertenecientes a los 7, 14, 21 y 28 días (*Ver Figura III.6*).



Figura III.1: Almacenamiento de piedra picada y arena ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.



Figura III.2: Tanque de agua dispuesta para la realización de mezclas ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.



Figura III.3: silo almacenador de cemento ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.



Figura III.4: Tanques de almacenamiento de piedra picada y arena ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concreto.



Figura III.5: Piscinas dispuestas para el curado de cilindros y viguetas, ubicado en Planta Premezcladora Rapid Concrete.



Figura III.6: Piscina dispuesta para el curado de cilindros y viguetas, ubicado en el IMME de la Universidad Central de Venezuela.

III.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

III.2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

La trabajabilidad, porosidad, contracción y economía del concreto son características importantes que varían dependiendo de la dosificación de los materiales y del tamaño de los agregados, el cual es verificado con la granulometría.

El análisis granulométrico de los agregados, tanto fino como grueso, se realizó según lo establecido en la norma COVENIN 255-98 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica.", cuyo procedimiento, consistió en colar determinada cantidad de finos y gruesos según lo especificado, con tamices colocados en orden descendiente respecto al tamaño de abertura según lo señalado en la Norma.

III.2.1.1. Agregado Grueso

Materiales y equipos a usar:

1. Tamices con los siguientes diámetros de abertura: 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", # 4, # 8, # 16, # 30, # 100 y # 200 (Ver Figura III.10).
2. Una tamizadora eléctrica Marca *Gilson Screen*, Serial: T-469 Modelo: TM-1 (Ver Figura III.8), la cual imparte un movimiento vertical y lateral de los tamices y usa tamices con diámetro de abertura de: 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y ¼".

3. Una balanza con una capacidad mínima de carga de 25 Kg (*Ver Figura III.9*), con una lectura y aproximación del 0,1% de la carga de ensayo.
4. Recipientes para la muestra como taras o envases lo suficientemente grandes y fuertes para poder cargar y pesar el agregado.

Para la granulometría de los agregados gruesos se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se tomó 23 Kg. de agregado grueso seco (*Ver Figura III.7*), según lo estipulado en la norma.
2. Se colocaron los tamices (en una tamizadora eléctrica) en orden descendiente según el tamaño de abertura de la siguiente forma: 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y ¼" (*Ver Figura III.8*).
3. Se vertió la muestra en el tamiz superior y se encendió la tamizadora eléctrica para agitar los tamices permitiendo el paso de las partículas.
4. Se procedió a tamizar el material retenido en el tamiz de ¼" a mano con los siguientes tamices: # 4, # 8, # 16, # 30, # 100 y # 200.
5. El material retenido en el tamiz de ¼" se vertió en el tamiz # 4 agitándolos manualmente para permitir el paso de las partículas.
6. Se determinó la masa de cada porción de la muestra en los tamices con una balanza verificando que la masa total del material después del tamizado coincidiera con la masa original de la muestra colocada inicialmente en el tamiz superior.

Con los resultados de este ensayo se generaron tablas que sirvieron para realizar la gráfica de porcentaje de pasantes versus tamaño de partícula en mm.



Figura III.7: Muestra de agregado grueso



Figura III.8: Tamizadora eléctrica.



Figura III.9: Balanza.

III.2.1.2. Agregado Fino

Materiales y equipos a usar:

1. Tamices con los siguientes diámetros de abertura: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100 y # 200 (Ver Figura III. 10).
2. Una balanza con capacidad mínima de carga de 500 gr. ó más (Ver Figura III.11), con lectura hasta de 0,1 gr. y una precisión del 0,1% de la carga de ensayo.
3. Recipientes como taras o envases adecuados para cargar y pesar el agregado.
4. Un horno cerrado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C. (Ver Figura II. 10).

Para la granulometría de los agregados finos se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se tomó una muestra de arena húmeda representativa de 500 gr.
2. Se introdujo en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas para secarla y se peso la arena seca.
3. Se colocaron los tamices por orden de tamaño de abertura según la Norma, comenzando con el mayor y terminando con el menor en el siguiente orden: $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{8}$ " , $\frac{1}{4}$ " , # 4 , # 8 , # 16 , # 30 , # 50 , # 100 y # 200 (Ver Figura III.10).
4. Se vertió la muestra en el tamiz superior y se agitaron los tamices manualmente para permitir el paso de las partículas.
5. Se determinó la masa de cada porción de la muestra en los tamices con una balanza verificando que la masa total del material después del tamizado coincidiera con la masa original de la muestra colocada inicialmente en el tamiz superior.

Con los resultados de este ensayo se generaron tablas que sirvieron para realizar la gráfica de porcentaje de pasantes versus tamaño de partícula en mm.



Figura III.10: Tamices.

III.2.2. HUMEDAD

Materiales y equipos a usar:

1. Una balanza con capacidad mínima de carga de 500 gr. (Ver Figura III.12), con lectura hasta de 0,1 gr. y una precisión del 0,1% de la carga de ensayo.
2. Recipientes como taras o envases adecuados para cargar y pesar el agregado.
3. Un horno cerrado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C. (Ver Figura II.11).

Para el cálculo del porcentaje humedad del agregado fino (arena) se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se tomo una muestra de arena húmeda de 500 gr.
2. Se colocó en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas (Ver Figura III.11).
3. Se retiró la muestra seca del horno y se peso el material.
4. Se calculó el peso del agua libre, el cual es la diferencia del peso entre el material húmedo y el material seco con la Ecuación III.1 (W_{ω}).
5. Se calculó el porcentaje de humedad (% ω) con la Ecuación III.2.

$$W_{\omega} = \text{Peso de arena mojada} - \text{Peso arena húmeda} \quad (\text{Ecuación III.1.})$$

$$\% \omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100 \quad (\text{Ecuación III.2.})$$

Donde:

W_w : Peso del agua libre.

W_s : Peso de la muestra seca.



Figura III.11: Muestra húmedas de finos y gruesos en horno a 110 ± 5 °C.



Figura III.12: Balanza Mettler P10N de carga máxima 3000 gr.

III.2.3. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

III.2.3.1. Peso específico (γ_G) y porcentaje de absorción (G) del agregado grueso

Se obtuvo según lo estipulado en la Norma COVENIN 269-98 “Agregado grueso. Determinación de la Densidad y la Absorción.”

Materiales y equipos a usar:

1. Una Balanza con una capacidad mínima de carga de 6 Kg, una apreciación de 0,5 gr. y una precisión de 0,05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango de uso para este ensayo. Esta debe estar equipada con un dispositivo apropiado para suspender el recipiente de la muestra sumergida en agua desde el centro de la plataforma de la balanza (Ver Figura III.13).
2. Una cesta de malla de alambres con abertura de 3,35 mm.
3. Un recipiente que sostenga el agregado y que evite que el aire quede atrapado al sumergirlo en agua.
4. Un pequeño tanque de agua dentro del cual se pueda colocar el recipiente de la muestra mientras se suspende por debajo de la balanza.
5. Un horno de secado adecuado capaz de mantener una temperatura entre 100°C y 110°C y que tenga una capacidad adecuada para introducir la muestra (Ver Figura III.11).

Se siguieron los siguientes pasos:

1. Se tomo 6 Kg del agregado grueso.
2. Se obtuvo la masa de la muestra bajo la condición de saturación y de superficie seca.
3. Después de determinar la masa de la muestra, se colocó seguidamente la muestra de ensayo saturada y de superficie seca en el recipiente o cesta de alambre (*Ver Figura III.13 y Figura II.14*), y se determinó su masa en el agua a una temperatura de 23 ± 2 °C con un valor de densidad del agua de 1 gr/ml (*Ver Figura III.15*). Antes de pesar se tomó precauciones para eliminar todo el aire atrapado, agitando el recipiente mientras estaba sumergido. El Recipiente se sumergió hasta una profundidad suficiente para cubrirlo y cubrir a la muestra durante la operación del pesado, a demás el recipiente se sacudió con cuidado para remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa. El alambre del cual colgaba el recipiente fue del menor tamaño posible para disminuir los efectos de una longitud sumergida variable.
4. Se saco la muestra introduciéndola en el horno a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C hasta que el valor de su masa fuese constante (*Ver Figura III.11*). Se dejo enfriar al aire a temperatura ambiente durante 2 horas aproximadamente hasta que el agregado se enfrió a una temperatura de cómoda manipulación (aproximadamente 50 °C) y se determinó su masa.



Figura III.13: Balanza con dispositivo inferior para suspender el recipiente.



Figura III.14: Colocación de muestra saturada de superficie seca de gruesos en recipiente o cesta de alambre.



Figura III.15: Determinación de la masa en el agua de la muestra saturada de superficie seca.

5. Por ultimo se calculó cada una de las siguientes expresiones:

III.2.3.1.1. Densidad Nominal del agregado grueso (ρ)

Se calculo a 23 ± 2 °C con la *Ecuación III.3*:

$$\rho = \frac{d \times M_1}{M_1 - M_3} \quad (\text{Ecuación III.3})$$

Donde:

ρ : Densidad Nominal (gr/ml).

d : Densidad del agua (gr/ml).

M_1 : Masa en aire de la muestra de ensayo secada al horno (gr).

M_3 : Masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr).

III.2.3.1.2. Densidad Aparente del agregado grueso (ρ_a)

Se calcula a 23 ± 2 °C con la *Ecuación III.4*:

$$\rho_a = \frac{d \times M_1}{M_2 - M_3} \quad (\text{Ecuación III.4})$$

Donde:

ρ_a : Densidad Aparente (gr/ml).

d : Densidad del agua (gr/ml).

M_1 : Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (gr).

M_2 : Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y de superficie seca (gr).

M_3 : Masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr).

III.2.3.1.3. Absorción del agregado grueso (G)

El porcentaje de absorción se calculó con la *Ecuación III.5*:

$$G = \left(\frac{G_{\text{SSS}} - M_1}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación III.5})$$

Donde:

G_{SSS} : Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y de superficie seca (gr).

M_1 : Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (gr).

III.2.3.1.4. Peso específico saturado con superficie seca del agregado grueso (γ_G)

El peso específico del agregado grueso se calculó con la *Ecuación III.6*:

$$\gamma_G = \frac{\omega_1}{\omega_1 - \omega_2} \quad (\text{Ecuación III.6})$$

Donde:

γ_G : Peso específico saturado con superficie seca de agregado grueso.

ω_1 : Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr.)

ω_2 : Peso en el agua de la muestra saturada (gr.)

III.2.3.2. Peso específico (γ_A) y porcentaje de absorción (A) del agregado fino

Materiales y equipos a usar:

1. Una Balanza con una capacidad mínima de carga de 1 Kg, con lectura mínima de 0,1 gr. de apreciación y con precisión del 0,1%, es decir dentro de cualquier rango de 100 gr. de la carga de ensayo.
2. Un recipiente para sumergir el material en agua.
3. Un recipiente que se pueda colocar en una hornilla o horno para secar la muestra.
4. Un picnómetro de 1000 ml de capacidad para introducir la muestra (*Ver Figura III.19*).

5. Un molde metálico de forma tronco cónica de 40 ± 3 mm de diámetro en su base superior, 90 ± 3 mm en su base inferior y 75 ± 3 mm de altura (Ver Figura III.17).
6. Una barra metálica de 340 ± 15 gr. de peso con un extremo de superficie plana y circular de 25 ± 3 mm de diámetro para usar como compactador (Ver Figura III.18).
7. Una hornilla para mantener una temperatura entre 100°C y 110°C .
8. Un horno de secado adecuado capaz de mantener una temperatura entre 100°C y 110°C y que tenga una capacidad adecuada para introducir la muestra (Ver Figura III.11).

Se obtuvo según lo estipulado en la Norma COVENIN 268-98 "Agregado fino. Determinación de la Densidad y la Absorción." Se siguieron los siguientes pasos:

1. Se tomó 1 Kg. y se secó la muestra en un recipiente adecuado, en un horno, hasta obtener una masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (Ver Figura III.11).
2. Se sumergió el material durante 24 horas.
3. Se secó la superficie de las partículas de la muestra en un recipiente adecuado sobre una hornilla a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (Ver Figura III.16) y se dejó enfriar hasta una temperatura en la que pudiese manipular.
4. Se sostuvo firmemente el molde (cono) sobre la superficie lisa con el diámetro mayor hacia abajo.
5. Se colocó una porción de la muestra en el molde llenándolo hasta que rebosó del borde superior, en forma de copa se procedió a razar con el mismo compactador (Ver Figura III.17).

6. Se compactó la muestra dejando caer un pequeño mazo de forma leve 25 veces; cada caída comenzaba desde una altura aproximada de 5 mm sobre la superficie superior del cono (*Ver Figura III.18*).
7. Se aliso la superficie de la muestra removiendo el agregado suelto y se alzó el molde verticalmente sin girarlo. Si el agregado mantenía la forma de cono, se debía a que todavía la humedad superficial estaba presente, así que se tenía que continuar con el proceso de secado agitando constantemente y se probaba a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino se derrumbara ligeramente al quitar el molde, lo cual indicaba que el agregado había alcanzado la condición de superficie seca. Si el agregado fino se desmoronaba en la primera prueba quería decir que se había secado más allá de la condición de saturación y de superficie seca, en ese caso se debían mezclar completamente algunos milímetros cúbicos de agua con el agregado fino, se debía dejar reposar durante 30 min. en un recipiente tapado y se tenía que repetir todo el procedimiento de secado hasta lograr la condición de superficie seca.
8. Se llenó el picnómetro parcialmente con agua. Se introdujo en el mismo 500 gr. de la muestra del agregado fino saturado y de superficie seca (*Ver Figura III.20*), se añadió agua gradualmente en un 50%, luego se completó hasta el 75% y finalmente hasta el 100%, agitando la muestra del picnómetro e invirtiéndolo cuando era preciso, hasta que se observó que no habían burbujas de aire en el picnómetro.
9. Se ajustó la temperatura hasta 23 ± 2 °C.
10. Se determinó la masa total del picnómetro con la muestra y el agua, el peso total del picnómetro con la muestra y agua se determinó según la *Ecuación III.7*.

11. Se sacó el agregado fino del picnómetro y se secó hasta obtener una masa constante a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C. Se dejó a temperatura ambiente por un tiempo de 30 min aproximadamente y se pesó.
12. Se determinó la masa del picnómetro lleno con agua hasta su capacidad de calibración, a una temperatura de 23 ± 2 °C.

$$M_p = (V_a \cdot d) + M + M_0 \quad (\text{Ecuación III.7})$$

Donde:

M_p : Masa del picnómetro con la muestra y el agua, hasta la marca de calibración (gr).

d : Densidad del agua gr/ml (Se aproximó a 1 gr/ml).

V_a : Volumen del agua añadida al picnómetro (ml).

M : Masa de la muestra saturada y de superficie seca (gr).

M_0 : Masa del picnómetro vacío (gr).



Figura III.16: Proceso de secado de superficie de la muestra en una hornilla a 110 ± 5 °C



Figura III.17: Molde metálico de forma tronco-cónica de 40 ± 3 mm de diámetro en su base superior, 90 ± 3 mm en su base inferior y 75 ± 3 mm de altura.



Figura III.18: Compactación de la muestra con un pequeño mazo.



Figura III.19: Picnómetro parcialmente lleno de agua.



Figura III.20: Añadidura de la muestra saturada de superficie seca en el picnómetro con agua.

III.2.3.2.1. Densidad Nominal del agregado fino (ρ)

Se calculo a 23 ± 2 °C con la *Ecuación III.8*:

$$\rho = \frac{d \times M_1}{M_a + M_1 - M_p} \quad (\text{Ecuación III.8})$$

Donde:

ρ : Densidad Nominal (gr/ml).

d : Densidad del agua (gr/ml).

M_1 : Masa de la muestra en el aire secada al horno (gr).

M_a : Masa del picnómetro lleno con agua (gr).

M_p : Masa del picnómetro con la muestra y el agua, hasta la marca de calibración (gr).

III.2.3.2.2. Densidad Aparente del agregado fino (ρ_a)

Se calculo a 23 ± 2 °C con la *Ecuación III.9*:

$$\rho_a = \frac{d \times M_1}{M_a + M - M_p} \quad (\text{Ecuación III.9})$$

Donde:

ρ_a : Densidad Aparente (gr/ml).

d : Densidad del agua (gr/ml).

M_1 : Masa de la muestra en el aire secada al horno (gr).

M : Masa de la muestra saturada y de superficie seca (gr).

M_a : Masa del picnómetro lleno con agua (gr).

M_p : Masa del picnómetro con la muestra y el agua, hasta la marca de calibración (gr).

III.2.3.2.3. Absorción del agregado fino (A)

El porcentaje de absorción se calculó con la *Ecuación III.10*:

$$A = \left(\frac{A_{sss} - M_1}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación III.10})$$

Donde:

A_{sss} : Masa de la muestra saturada y de superficie seca (gr).

M_1 : Masa de la muestra en el aire secada al horno (gr).

III.2.3.2.4. Peso específico saturado con superficie seca del agregado fino (γ_A)

El peso específico del agregado fino se calculó con la *Ecuación III.11*:

$$\gamma_A = \frac{\omega_1}{\omega_{pa} + \omega_1 - \omega_p} \quad (\text{Ecuación III.11})$$

Donde:

γ_A : Peso específico saturado con superficie seca de agregado fino.

ω_1 : Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr.)

ω_{pa} : Peso del Picnómetro con agua (gr.)

ω_p : Peso del picnómetro con agua y el material (gr.)

III.3. DISEÑO DE MEZCLAS

El método que se usó para el diseño de las mezclas de concreto fue el expuesto en el "*Manual de Concreto Estructural*" de Joaquín Porrero (Diseño de mezcla convencional). Las variables fundamentales que se consideraron para la ejecución del procedimiento son: resistencia deseada del concreto, relación agua/cemento, dosis de cemento, volumen de agua y agregados.

En este Trabajo Especial de Grado se elaboraron diseños de mezclas para concretos con resistencias a compresión de 180, 220 y 250 Kg/cm² alcanzadas a los 28 días.

La forma de identificar cada mezcla de concreto se enumero conforme al orden de la elaboración de cada una según su resistencia, quedando de la siguiente forma: M1 para una resistencia de 220 Kg/cm², M2 para una resistencia de 250 Kg/cm² y M3 para una resistencia de 180 Kg/cm².

A continuación se presentan las variables fundamentales consideradas para la elaboración del diseño de mezclas.

III.3.1. RESISTENCIA (f'_{cr})

Para estimar la resistencia de cálculo de concreto Portland Tipo I se utilizó la *Ecuación III.12*, en el caso de este Trabajo Especial de Grado se han fijado en 180, 220 y 250 Kg/cm² respectivamente:

$$f'_{cr} = f'_c - Z \times \sigma \quad (\text{Ecuación III.12})$$

Donde:

f'_c : Resistencias fijadas (180, 220 y 250 Kg/cm²).

Z : Fracción defectiva (9% → $Z = -1,34$. Ver tabla VI.3 del Libro “Manual de Concreto Estructural”, Pág. 133 (Romero R. Porrero J.)).

σ : Desviación estándar (20 → para los agregados utilizados).

III.3.2. LEY DE ABRAMS

La Ley de Abrams establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento (α) en peso y está representada por la *Ecuación III.13*:

$$\alpha = \frac{a}{C} \quad (\text{Ecuación III.13})$$

Donde:

a : Cantidad de agua en litros o en Kgf.

C : Dosis de cemento en Kgf.

Una forma de expresar la Ley de Abrams es con la *Ecuación III.14* y la *Ecuación III.15*:

$$\bar{R} = \frac{M}{N^\alpha} \quad (\text{Ecuación III.14})$$

Donde:

\bar{R} : Resistencia media esperada.

$M = 902,5$ (Constante).

$N = 8,69$ (Constante).

III.3.3. RELACIÓN AGUA CEMENTO

Tomando los logaritmos de la *Ecuación III.14* y despejando la relación agua-cemento (α) tenemos la *Ecuación III.15*:

$$\alpha = 3,147 - (0,065 \times \text{Log } \bar{R}) \quad (\text{Ecuación III.15})$$

Donde:

α : Relación agua-cemento.

\bar{R} : Resistencia media esperada.

La relación agua cemento se ajustó con factores de corrección que dependen del tipo de agregado y tamaño máximo, en el caso de este trabajo de investigación los factores de corrección toman el valor de 1,00 con lo que (α) no sufre ninguna modificación. La corrección se realiza con la *Ecuación III.16*:

$$\alpha_c = \alpha \times K_r \times K_a \quad (\text{Ecuación III.16})$$

Donde:

α : Relación agua-cemento.

K_r : Factor de corrección según tamaño máx. (Ver *Tabla III.1*)

K_a : Factor de corrección según el tamaño min. (Ver *Tabla III.2*)

Tabla III.1 K_r Factor para corregir α por tamaño máx. mm (plug)

Tamaño	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
Máximo	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 ½)	(2)	(2 ½)	(3)
Factor K_r	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

Fuente: "Manual de Concreto Estructural", pág. 136 (Romero R., Porrero J.)

Tabla III.2 K_a Factor para corregir α por tipo de agregado

	Gruesos		
		Triturados	Semi triturados
Finos			Canto rodado (Grava natural)
Arena natural		1,00	0,97
Arena triturada		1,14	1,10

Fuente: "Manual de Concreto Estructural", pág. 137 (Romero R., Porrero J.)

III.3.4. RELACIÓN AGUA CEMENTO

La relación triangular asocia la trabajabilidad o asentamiento (T) determinada mediante el Cono de Abrams, con dos parámetros importantes en el diseño de mezcla como lo son la dosis de cemento " C " y " α ", a través de la expresión mostrada en la *Ecuación III.17*:

$$C = \frac{K \times T^n}{\alpha^m} \quad (\text{Ecuación III.17})$$

En donde K , m y n son constantes que dependen de las características de los componentes de la mezcla para los materiales utilizados: piedra picada, tamaño máximo 1", arena natural y cemento Portland Tipo I se obtiene buenos ajustes con la *Ecuación III.18*.

$$C = \frac{117,2 \times T^{0,16}}{\alpha^{1,3}} \quad (\text{Ecuación III.18})$$

El valor de la trabajabilidad (T) fue fijado en 5 *pulg.* ó 12,7 *cm*, conocido los valores de α y T se calculó C , este valor fue ajustado, en este Trabajo Especial de Grado los factores de corrección C_1 y C_2 por tamaño máximo y por tipo de agregado respectivamente fueron 1,00 para tamaño máximo de 1" y 1,05 para un tamaño de $\frac{3}{4}$ " (Ver *Tabla III.3* y *Tabla III.4*) por lo que C varió en función del diseño de mezcla a realizar y se expresó en Kg/m^3 .

Tabla III.3 C_1 Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (*pulg.*)

Tamaño máx.	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	72,2
	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 ½)	(2)	(2 ½)	(3)
Factor C_1	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Fuente: "Manual de Concreto Estructural", pág. 141 (Romero R., Porrero J.)

Tabla III.4 C_2 Factor para corregir C por Tipo de agregado

Finos	Gruesos	Triturados	Semi triturados	Canto rodado (Grava natural)
Arena natural		1,00	0,93	0,90
Arena triturada		1,28	1,23	0,96

Fuente: "Manual de Concreto Estructural", pág. 142 (Romero R., Porrero J.)

III.3.5. PROPORCIÓN ENTRE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

La relación β es el cociente entre la arena y el agregado total, expresado generalmente en porcentaje y definido por la *Ecuación III.19*:

$$\beta = \frac{A}{A+G} \quad (\text{Ecuación III.19})$$

Donde:

A : Contenido de agregado fino en la mezcla (Kgf/cm²).

G : Contenido de agregado grueso en la mezcla (Kgf/cm²).

En este Trabajo Especial de Grado se calculó según el método gráfico recomendado por el “*Manual del Concreto Estructural*” que establece las combinaciones óptimas de agregados para obtener mezclas de calidad dando un valor de $\beta = 0,45$.

III.3.6. VOLUMEN DE AIRE ATRAPADO

Aunque se realice un buen vibrado del concreto, siempre queda existente dentro de la mezcla un volumen de aire atrapado, el cual se puede estimar sobre la base del tamaño máximo del agregado y el contenido de cemento en la mezcla según se expresa en la *Ecuación III.20*:

$$V_{\text{aire}} = \frac{C}{P} \quad (\text{Ecuación III.20})$$

Donde:

V_{aire} : Aire atrapado en (lt/m²).

C : Dosis de Cemento (Kg/m³).

P : Tamaño máximo del agregado (mm).

III.3.7. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGUA

El volumen absoluto ocupado en el cemento, sin considerar aire entre los granos, se obtiene con la *Ecuación III.21*:

$$a = C_C \times \alpha_C \quad (\text{Ecuación III.21})$$

Donde:

a : Peso del agua presente en la mezcla (Kg/m^3).

C_C : Dosis de Cemento (Kg/m^3).

α_C : Relación agua-cemento corregido.

III.3.8. VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

El volumen ocupado por los granos de los agregados, sin considerar el aire entre ellos, se obtiene con la Ecuación III.22 y Ecuación III.23 (Esta ecuación esta descrita para un 1 m^3 de mezcla:

$$V_c + V_a + V + V_{(A+G)} = 1000.l \quad (\text{Ecuación III.22})$$

$$0,3 \times c + a + V + \frac{(A+G)}{\gamma_{(A+G)}} \quad (\text{Ecuación III.23})$$

$$\frac{l}{\text{m}^3} \approx \text{Kg} / \text{m}^3$$

Donde:

A : Contenido de agregado fino en la mezcla (Kg/cm^2).

G : Contenido de agregado grueso en la mezcla (Kg/cm^2).

$\gamma_{(A+G)}$: Promedio ponderado del agregado combinado que está dada por la Ecuación III.24:

$$\gamma_{(A+G)} = \beta \times \gamma_A + (1 - \beta) \times \gamma_G \quad (\text{Ecuación III.24})$$

Donde:

β : Esta expresada en tanto por uno.

γ_A : Peso específico del agregado fino.

γ_G : Peso específico del agregado grueso.

III.3.8.1. Dosis de arena.

Para calcular la dosis de arena se utilizó la *Ecuación III.25*:

$$A = \frac{G}{1 + \beta} \times \beta \quad (\text{Ecuación III.25})$$

Donde:

A : Contenido de agregado fino en la mezcla (Kg/cm^2).

G : Contenido de agregado grueso en la mezcla (Kg/cm^2).

β : Es 0,45 para nuestra mezcla.

III.3.8.2. Dosis de piedra

Para calcular la dosis de piedra se utilizó la *Ecuación III.26*:

$$G = \frac{A}{1 - \beta} \times (1 + \beta) \quad (\text{Ecuación III.26})$$

Donde:

A : Contenido de agregado fino en la mezcla (Kg/cm^2).

G : Contenido de agregado grueso en la mezcla (Kg/cm^2).

β : Es 0,45 para nuestra mezcla.

III.3.9. CORRECCIÓN POR HUMEDAD

En la etapa de mezclado se consideró la absorción de agua de los agregados, es por ello que para calcular el agua de la mezcla se debe corregir los agregados gruesos aplicando la siguiente *Ecuación III.27* y los agregados finos aplicando la *Ecuación III.28*:

$$G_w = \frac{G_{sss} \times (100 + W)}{100 + A_b} \quad (\text{Ecuación III.27})$$

Donde:

G_w : Peso del material húmedo.

G_{sss} : Peso del agregado saturado con superficie seca.

A_b : Capacidad de absorción de agua del agregado.

W : Humedad del agregado.

$$A_w = \frac{A_{sss} \times (100 + W)}{100 + A_b} \quad (\text{Ecuación III.28})$$

Donde:

A_w : Peso del material húmedo.

A_{sss} : Peso del agregado saturado con superficie seca.

A_b : Capacidad de absorción de agua del agregado.

W : Humedad del agregado.

III.3.9.1. AGUA DE LA MEZCLA

El agua de la mezcla se calculó con la *Ecuación III.29*:

$$a_M = a_D + A_{sss} - A_w + G_{sss} - G_w \quad (\text{Ecuación III.29})$$

Donde:

a_M : Agua de la mezcla expresada en lt/m^3 .

a_D : Dosis de agua calculada en el diseño de la mezcla, en lt/m^3 .

A_{SSS} : Peso del agregado saturado con superficie seca.

A_W : Peso del material húmedo.

G_{SSS} : Peso del agregado saturado con superficie seca.

G_W : Peso del material húmedo.

III.3.10. DOSIFICACIÓN

La dosificación se calculó para cuatro mezclas de diversas resistencias, cada una de $0,5 \text{ m}^3$. La cantidad de cemento se calculó con la *Ecuación III.30*, la de agua con la *Ecuación III.31*, la piedra picada con *Ecuación III.32* y la arena con la *Ecuación III.33*:

$$C = C_c \times 0,5\text{m}^3 \quad (\text{Ecuación III.30})$$

Donde:

C : Dosis de cemento en Kg.

C_c : Dosis de Cemento Corregida Kg/m^3 .

$$\text{Agua} = a_M \times 0,5\text{m}^3 \quad (\text{Ecuación III.31})$$

Donde:

Agua: Se expresa en Kg.

a_M : Agua de la mezcla expresada en lt/m^3 .

$$\text{Grueso} = G \times 0,5\text{m}^3 \quad (\text{Ecuación III.32})$$

Donde:

Grueso: Se expresa en Kg.

G : Cantidad de piedra para 1m^3 de mezcla expresado en Kg.

$$\text{Arena} = A \times 0,5m^3 \quad (\text{Ecuación III.33})$$

Donde:

Arena : Se expresa en Kg.

A : Cantidad de arena para 1m³ de mezcla expresado en Kg.

III.4. ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

La elaboración de las probetas de concreto se realizó según lo indicado en la Norma COVENIN 338-2002 “*Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto*”.

Una vez conocida las dosis y cantidades de los componentes de las mezclas para cada una de las 3 resistencias a ensayar, se llevó a cabo el proceso de mezclado para los diferentes tipos de concreto, estas mezclas fueron realizadas por la premezcladora “*Rapid concreto*”, ubicada en la Guaira, Estado Vargas. El concreto se trasportó y se mezcló en un camión mezclador constituido por un tambor con capacidad de 7m³, en cuyo interior se encontraban adosadas un conjunto de paletas, que cumplieron la función de mezclar los ingredientes o simplemente agitar la mezcla para impedir la segregación.

En este Trabajo Especial de Grado se elaboraron mezclas para concretos con resistencias a compresión de 180, 220 y 250 Kg/cm² alcanzadas a los 28 días de elaboradas cada una de las mezclas.



Figura III.21: Camiones mezcladores de tambores con capacidad de $7m^3$.

Para la elaboración de las probetas de concreto se dispuso de 15 moldes metálicos cilíndricos (por cada tipo de resistencia) con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (Ver Figura III.22) y de 4 moldes para viguetas rectangulares de 80 cm. de largo, 15 cm. de ancho y 16 cm. de alto (Ver Figura III.23), en los cuales se vaciaron las mezclas; se dejaron reposar 24 horas aproximadamente, se desencofraron y finalmente se limpiaron con cepillos de alambre y esponjas de alambre.



Figura III.22: Moldes metálicos cilíndricos de 15cm de diámetro y 30 cm de altura.



Figura III.23: Moldes para viguetas rectangulares de 80 cm de largo, 15 cm de ancho y 16 cm de alto.

III.4.1. MEDICIÓN DE ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS

La medición del asentamiento de cada una de las mezclas elaboradas, se realizó tomando en cuenta las indicaciones dadas en la Norma COVENIN 339-2003 “Concreto. Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams”.

Materiales y equipos a usar:

1. Camiones mezcladores constituidos por un tambor de 7 m³ de capacidad, este tambor debe poseer adosadas un conjunto de paletas que mezclan los ingredientes introducidos ó agitan la mezcla (Ver Figura III.21).
2. Un cono de Abrams, constituido por un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1,5 mm., con forma tronco cónica de 200±3 mm. de diámetro en la base mayor, 100±3 mm. de diámetro en la base menor y 300±3 mm. de altura. Con bases abiertas, paralelas entre si y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches (Ver Figura III.24).

3. Una barra compactadora de acero, recta, cilíndrica y lisa de 16 mm de diámetro, 600 mm de longitud, con el extremo semiesférico de 8 mm. de radio.
4. Una cuchara arrocera.
5. Una espátula.
6. Una cinta métrica de precisión 0,1 cm. y con una lectura mínima de 15 cm.



Figura III.24: Moldes y materiales para la realización del ensayo de medición de asentamiento
Cono de Abrams, barra compactadora y cuchara arrocera.

El molde se colocó sobre una lámina metálica, la cual funcionó como una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente para el concreto. El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la mezcla de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde. Cada capa se compactó con 25 golpes de una barra compactadora de acero, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal acercándose progresivamente en espiral desde los bordes hacia el centro de la sección. El molde se llenó por exceso antes de compactar la última capa. Luego se enrasó con la barra compactadora (Ver Figura III.25).



Figura III.25: Proceso de vaciado del cono de Abrams.

Seguidamente se retiró el molde cónico, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical. El asentamiento se midió inmediatamente después de alzar el molde y se determinó por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado (Ver Figura III.26).



Figura III.26: Medición del asentamiento de la mezcla de concreto

III.4.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGUETAS

La elaboración de las probetas se realizó según lo indicado en la Norma COVENIN 338-2002 “*Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a compresión de Cilindros de Concreto*”.

Materiales y equipos a usar:

1. 15 moldes metálicos cilíndricos, por cada tipo de resistencia, con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (*Ver Figura III.21*).
2. 4 moldes para viguetas rectangulares de 80 cm. de largo, 15 cm. de ancho y 16 cm. de alto (*Ver Figura III.23*).
3. Una barra compactadora de acero, recta, cilíndrica y lisa de 16 mm de diámetro, 600 mm de longitud, con el extremo semiesférico de 8 mm. de radio (*Ver Figura III.28*).
4. Una cuchara arrocera.
5. Una espátula.
6. Cepillos de alambre y esponjas de alambre para limpiar los moldes.
7. Gasoil.
8. Una barra larga con punta de estopa con punta de tela absorbente.
9. Un tanque de agua para el curado de las piezas de concreto (*Ver Figura III.31*).

Antes de vaciar las probetas y viguetas se limpiaron con cepillos y esponjas de alambre los moldes, eliminando restos adheridos de mezclas anteriores (*Ver Figura III.27*). Su superficie interior y su base se aceitaron con gasoil mojando con

el líquido una estopa y humedeciendo los moldes (Ver figura III.27). La mezcla de concreto se vació en los moldes, en tres capas de igual volumen; cada capa se compactó con 25 golpes de una barra acero, recta, cilíndrica y lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con el extremo semiesférico (Ver Figura III.28). Los golpes se distribuyeron uniformemente en toda la sección transversal de los moldes.



Figura III.27: Limpieza de moldes y colocación de gasoil en las mismas para probetas y viguetas.



Figura III.28: Vaciado y compactación con 25 golpes de una barra de acero

Se golpearon suavemente las paredes de los moldes y se enrasaron las probetas y las viguetas con la barra compactadora, de manera que la superficie quedara perfectamente lisa y al ras con el borde del molde (Ver Figura III.29).



Figura III.29: Enrase de probetas de concreto y viguetas.

Luego de transcurrido un tiempo de 24 horas de la elaboración de las probetas y las viguetas, se desencofraron (Ver Figura III.30), se limpiaron los moldes y se sumergieron los cilindros en tanques de agua para su curado (Ver Figura III.31), transcurridos 3 días se trasladaron 3 de los cilindros al “*Instituto de Materiales y Modelos Estructurales*” de la Universidad Central de Venezuela para realizar el ensayo de compresión perteneciente a la fecha, a los 7 días se trasladaron las probetas restantes y se almacenaron en una piscina del instituto para continuar con el proceso de curado para posteriormente poder realizar los ensayos a compresión pertenecientes a los 7,14, 21 y 28 días .



Figura III.30: Desencofrado de viguetas.



Figura III.31: Probetas en proceso de curado en la planta de “Rapid Concreto C.A.” ubicada en la Guaira, Estado Vargas.

III.4.3. ENSAYO DE ULTRASONIDO

Para la realización del ensayo de ultrasonido, el cual es un ensayo no destructivo, se empleó 1 vigueta por cada una resistencias. Este ensayo se realizó según lo indicado en el punto 8.2 de la Norma COVENIN 1976-2003 “*Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayo*” y se evaluó según la Norma COVENIN 1681:1980 “*Método de Ensayo Para Determinar la Velocidad de Propagación de Onda en el Concreto*”. Este ensayo se efectuó con el propósito de estimar el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto y de esta manera verificar la homogeneidad del concreto (Ver Figura III.32).

Materiales y equipos a usar:

1. Un equipo para la realización de ensayos de ultrasonido con monitor y palpadores marca *James instruments INC* para sistema de ensayos no destructivos (Ver Figura III.32).
2. Vaselina.
3. 4 viguetas de concreto endurecido (una por cada tipo de resistencia).

Una vez obtenidas las viguetas de concreto endurecidas, se untaron con vaselina los dos palpadores metálicos pertenecientes al equipo de ensayo de ultrasonido, y se colocaron de forma paralela en una sección de la vigueta, luego se obtuvo en el monitor del aparato la lectura del tiempo que tardó en viajar la onda a través del concreto, posteriormente se calculó la velocidad de la onda. Este procedimiento se realizó en tres secciones de cada vigueta, en la parte superior, en la parte media y en la parte inferior de las mismas (Ver Figura III.33).



Figura III.32: Equipo para realización de ensayo de ultrasonido.



Figura III.33: Ensayo de ultrasonido.

III.4.4. MÉTODO DE ENSAYO A COMPRESIÓN

Este método se realizó siguiendo el procedimiento indicado en la Norma COVENIN 338-2002 “*Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a compresión de Cilindros de Concreto*”.

Materiales y equipos a usar:

1. Una Balanza con una capacidad mínima de carga de 15 Kg, con lectura de 0,1 gr. ó menos de apreciación y con precisión del 0,1%, es decir dentro de cualquier rango de 100 gr. de la carga de ensayo.
2. Un Vernier con una precisión de 0,02 mm. (Ver figura II.34).
3. Un nivel de 7” (Ver Figura III.35).
4. Una Prensa Universal de 200 toneladas marca *Baldwin* (Esta estaba ubicada en el “*Instituto de Materiales y Modelos Estructurales*” de la Universidad Central de Venezuela (Ver Figura III.36)).
5. 45 probetas cilíndricas de concreto endurecido (15 de cada una de las resistencia).

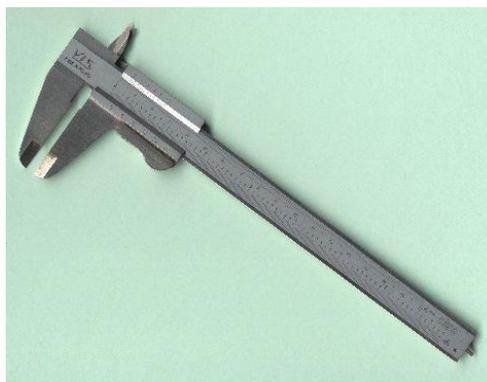


Figura III.34: Vernier con de 0,02 mm. de precisión.



Figura III.35: Nivel de 7”.

La finalidad de este ensayo fue verificar y registrar los valores de resistencia a compresión de los cilindros de diferentes mezclas. Se ensayaron 3 cilindros a cada 3, 7, 14, 21 y 28 días para cada mezcla.



Figura III.36: Prensa Universal de 200 Ton marca Baldwin, ubicada en el “Instituto de Materiales y Modelos Estructurales” de la Universidad Central de Venezuela.

Se determinó el diámetro de cada cilindro con un Vernier, promediando tres diámetros ortogonales al eje de cada uno. Luego se determinó su altura, también con la ayuda del Vernier. Los cilindros se colocaron en la Prensa Universal de 200 toneladas, donde se contó con la ayuda del personal técnico para la manipulación de la Prensa Universal. Finalmente se tomaron los datos de carga soportada por cada uno de los cilindros, y con las dimensiones anteriores, se calculó la resistencia a compresión de las probetas (Ver Figura III.37).



Figura III.37: Ensayo de compresión de cilindros.

III.5. EXTRACCIÓN Y ENSAYO A COMPRESION SIMPLE DE NUCLEOS

III.5.1. EXTRACCIÓN DE NUCLEOS

Este ensayo se practico sobre la vigueta que fue sometida a flexión y posteriormente a la intemperie, con la finalidad de verificar la resistencia a compresión del concreto afectado. Para la extracción y ensayo de los núcleos se siguió las recomendaciones de la Norma COVENIN 345 “*Método para la extracción de probetas cilíndricas de concreto endurecido*”. Los núcleos fueron extraídos en los extremos y centro de la vigueta.

Materiales y equipos a usar:

1. Taladro perforador equipado con broca tubular de pared delgada con una corona impregnada de diamante en su borde cortante.



Figura III.38: Extracción de núcleos de vigueta

III.5.2. ENSAYO A COMPRESION SIMPLE DE NUCLEOS

Retirados los núcleos de la vigueta, se procedió a preparar los extremos de los mismos, eliminando las perturbaciones de la superficie que pudieran afectar los resultados de la prueba compresión, para ello se enrazo con la maquina esmeriladora, seguido de la aplicación de una pequeña capa de mezcla para nivelar.

Preparados los núcleos se le aplico la prueba a compresión.



Figura III.39: Ensayo a compresión simple de nucleos

III.6. MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE BARRAS ROSCADAS

Para la elaboración del ensayo de caracterización del acero se contó con los siguientes materiales y equipos:

1. 3 barras roscadas de acero roscado SAE de Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro con una longitud de 70 cm (Ver Figura III.38).
2. Una prensa Universal marca *Baldwin* de capacidad máxima (en el nivel medio) de 50 Ton, con una apreciación de 25 Kgf (Ver Figura 39).
3. 1 flexímetro para medir la deformación de las barras.
4. 1 Cinta Métrica.
5. 1 Segueta.
6. 1 Prensa mecánica.



Figura III.40: Barras roscadas de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro

El ensayo se realizó bajo los lineamientos de la Norma COVENIN 299-89 "Materiales Metálicos. Ensayo de Tracción". Este ensayo consistió en someter una barra roscada de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, a una fuerza de tensión axial; durante este proceso se fue midiendo simultáneamente los alargamientos de cada barra hasta producirse la rotura de las mismas.

Se tomó la probeta y se sujetó a la Prensa Universal de Ensayo marca *Baldwin* (Ver Figura III.39), serial 522685, cuya capacidad es de 50 Ton y tiene una apreciación de 25 Kgf.



Figura III.41: Prensa Universal de ensayo marca Baldwin, ubicada en el “Instituto de Materiales y Modelos Estructurales” de la Universidad Central de Venezuela.

Se sometió a un esfuerzo de tracción cada una de las barras roscadas de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ ” de diámetro, y se midió la deformación producida en función del esfuerzo realizado (Ver Figura III.40). Por ultimo se calculó el porcentaje de deformación de cada barra.



Figura III.42: Ensayo de tracción de barras roscadas.

III.7. CALIBRACIÓN DEL GATO

Para la calibración del gato se usaron los lineamientos generales indicados en la Norma COVENIN 2534-2000 “Requisitos Generales que Permiten Evaluar la Competencia Técnica de los Laboratorios de Calibración y Ensayo”.

Los materiales y equipos:

1. Un Gato con una capacidad máxima de 60 Ton (Ver Figura III.41).
2. Una Bomba hidráulica marca *Power Unit* de 115 volts. 3,5 Amperes y 5000 RPM (Ver Figura III.42).
3. Un Manómetro de capacidad máxima 100 Kg/cm² y apreciación 1 (Ver Figura 42).
4. Una prensa Universal marca *Baldwin* de capacidad máxima (en el nivel medio) de 50 Ton, con una apreciación de 25 Kgf (Ver Figura 39).



Figura III.43: Gato.



Figura III.44: Bomba hidráulica marca Power Unit y Manómetro.

Se dispuso el gato entre los cabezales de la prensa de ensayos de 50 ton, aplicando una carga con la prensa Universal sobre el gato hasta alcanzar una lectura de 1000 Kgf/cm² indicada en la prensa, se tomaron lecturas de las cargas de el gato a intervalos de 10 Kgf/cm² indicados en la prensa.

III.8. ENSAYO DE ADHERENCIA DE LA RESINA EPÓXICA

Este método de ensayo cubre la determinación de la fuerza de adherencia de la resina epóxica para su uso con concreto de cemento Portland.

Para la elaboración del ensayo para la caracterización del epóxico se contó con los siguientes materiales y equipos:

1. 1 viguetas por cada resistencia (180, 220, 250 Kgf/cm²).
2. 1 vigueta que fue ensayada a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años.

3. 1 taladro roto-percutor Hilti (Ver Figura III.45).
4. 1 Mecha de acero 5/8”.
5. 8 barras de acero roscado SAE de Grado 2 de 1/2” de diámetro con una longitud de 25 cm (Ver Figura III.38).
6. Resina epóxica en pasta, marca Quimicon (Ver Figura III.43).
7. 1 gato con manómetro y bomba hidráulica marca Power Unit de 115 volts. 3,5 Amperes y 5000 RPM (Ver Figura III.41 y Figura III.42).
8. 1 Envase para la preparación de la resina.
9. 3 Agitadores de metal.
- 10.1 Manga del plástico.
- 11.1 Nivel de 7” (Ver Figura III.35).
- 12.1 Cinta Métrica.
- 13.1 Segueta (Ver Figura III.49).
- 14.1 Prensa (Ver Figura III.49).



Figura III.45: Resina epóxica en pasta marca Quimicon.

Se tomó 1 vigueta por resistencia (180, 220 y 250 Kg/cm²) para determinar la efectividad del material, se marcó cada vigueta con 2 puntos, a 25 cm del borde dejando una distancia entre punto y punto de 30 cm (Ver Figura 44), por ultimo se procedió a perforar los puntos para la realización del ensayo de caracterización del epóxico.

Se tomó una vigueta que fue ensayada a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años del Trabajo de Grado de la Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Titulado “Caracterización de las barras reforzadas de fibra de vidrio como refuerzo del concreto armado” de Guillan Damni y Domínguez Alexander; se escanearon los estribos de la vigueta, se marco el punto medio entre estribo y estribo y se realizaron las perforaciones para la realización del ensayo de caracterización del epóxico.



Figura III.46: Viguetas marcadas para perforación.



Figura III.47: Perforación con taladro roto-percutor Hilti para caracterización del epóxico.

Una vez marcadas las viguetas, se marco la mecha de 5/8" de diámetro, con una medida de 4 cm la cual era la profundidad deseada (Ver Figura III.46), se realizaron las perforaciones con un taladro roto-percutor *Hilti* (Ver Figura III.47), con una broca de 5/8" a una profundidad de 4 cm.



Figura III.48: Mecha de 5/8" de diámetro marcada con la profundidad de perforación deseada.



Figura III.49: Perforación con taladro roto-percutor Hilti para caracterización del epóxico.

Después de perforados los orificios se procedió a eliminar los residuos de concreto encontrados en los orificios por la perforación (Ver Figura III.48).



Figura III.50: Extracción de polvo de los orificios.

Se cortaron las barras roscadas de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con una longitud de 25 cm usando una seguita y una prensa (Ver Figura III.49).



Figura III.51: Corte de barras roscadas a 25 cm con segueta y prensa mecánica.

Se mezcló el componente A con el componente B de la resina epóxica en pasta (Ver Figura III.50), luego se colocó aproximadamente 2 cm de la mezcla de resina epóxica de marca *Quimicón* por inmersión, para después introducir las barras roscada de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro en los orificios. Finalmente se coloca otra porción de resina epóxica por rebose (Ver Figura III.51).



Figura III.52: Mezcla de la resina epóxica en pasta. (Componente con componente B).



Figura III.53: Barras roscadas de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro adheridas a viguetas para caracterización del epóxico.

Se nivelan cada una de las barras de forma vertical (Ver Figura III.52).



Figura III.54: Barras roscadas de acero SAE Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro adheridas a viguetas para caracterización del epóxico

Una vez instalado el anclaje, se dejó secar el epóxico por un lapso de 24 horas para su curado (tiempo recomendado por el fabricante) y se sometieron a tracción las barras adheridas a las viguetas con el epóxico, con un gato, una bomba hidráulica y un manómetro de capacidad 100 kgf/cm^2 hidráulico (Ver Figura III.53),



Figura III.55: Gato hidráulico, bomba hidráulica y manómetro de capacidad máxima 100 Kgf/cm².

Finalmente se aplicó la carga a cada una de las barras adheridas a las viguetas con la resina epóxica hasta que produjo una falla por deslizamiento y se anotó el esfuerzo máximo de cada una, así como los tipos de falla observados. Finalmente el esfuerzo obtenido se ajustó de acuerdo a la recta de calibración del gato hidráulico obteniendo así la carga aplicada (carga máx. soportada por la resina para el sistema).

III.9. ENSAYO DE EXTRACCIÓN DEL ANCLAJE DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPÓXICA

Para la elaboración del montaje del sistema de anclaje se contó con los siguientes materiales y equipos:

1. 2 viguetas por cada resistencia (180, 220 y 250 Kgf/cm²).
2. 1 vigueta que fue sometida a flexión y expuesta al aire libre durante aproximadamente 3 años.
3. 1 taladro roto-percutor Hilti (Ver Figura III.45).
4. 1 Mecha de acero 5/8".

5. 24 barras de acero roscado SAE de Grado 2 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro con una longitud de 32 cm (Ver Figura III.38).
6. Resina epóxica en pasta, marca *Quimicon* (Ver Figura III.43).
7. 1 gato con bomba hidráulica y manómetro marca *Power Unit* de 115 volts. 3,5 Amperes y 5000 RPM (Ver Figura III.41 y Figura III.42).
8. 1 Envase para la preparación de la resina.
9. 3 Agitadores de metal.
10. 1 Manga del plástico.
11. 1 Nivel de 7".
12. 1 Cinta Métrica.
13. Segueta.
14. Prensa mecánica.

Dispuestos todos los materiales y equipos anteriormente referidos, se prepararon las viguetas ordenándolas de menor a mayor en función de su resistencia, para luego medir y marcar los puntos donde se realizaría la perforación (Ver Figura III.54).



Figura III.56: ordenamiento de viguetas

La distancia entre cada punto de perforación fue de 25 cm con una separación de los bordes de 15 cm en eje principal de la viga y 7,5 cm en el eje transversal de la misma (Ver Figura III.55).



Figura III.57: Medición de puntos de perforación.

Definidos los puntos de perforación, se procedió con el taladro roto-percutor Hilti a realizar los orificios en las viguetas con la mecha de 5/8" de diámetro, a una profundidad de 10 cm, en la mecha fue marcada dicha longitud de profundidad para asegurar que la perforación realizada fuese de esa longitud (Ver Figura III.56).



Figura III.58: Perforación de la viguetas con el taladro roto-percutor Hilti.

En cada orificio se hizo necesario extraer el polvo producido por las perforaciones y retenido dentro de los mismos, para su extracción se utilizó aire a presión con la finalidad de obligar a salir todo el polvo presente en el orificio (Ver Figura III.57). El objeto de procedimiento, es limpiar la superficie del hoyo permitiendo una mejor adherencia entre el epóxico y el concreto.



Figura III.59: Extracción de polvo en los orificios con aire a presión.

Adicional al procedimiento anteriormente descrito, se limpio con un paño húmedo la superficie del hoyo, de forma que atrapara las posibles partículas presentes en las paredes del mismo.



Figura III.60: Ajuste barras roscadas en las perforaciones realizadas.

Una vez realizado todo lo descrito anteriormente, se hizo posible colocar por inmersión la resina y luego el anclaje en las perforaciones de las viguetas. La resina se preparó según indicaciones del fabricante, mientras que el procedimiento restante se realizó en conformidad con la práctica común en la construcción civil anteriormente expuesta (Ver Figura III.59).



Figura III.61: Preparación y colocación de resina epóxica.

Colocado el anclaje, sigue la nivelación vertical del mismo, para ello se uso un nivel de mano de 7,5" (Ver Figura III.60).



Figura III.62: Nivelación vertical del anclaje y disposición final de los anclajes

Finalmente colocados los anclajes, se dejó reposar por 24 horas en cumplimiento de las indicaciones del producto *Quimicon* para lograr su endurecimiento.

III.9.1. EXTRACCIÓN DE BARRA DE ACERO POR TRACCIÓN

Para la realización del ensayo a tracción del sistema de anclaje, se utilizó un Gato Hidráulico. El aparato fue colocado alrededor de la barra roscada y sobre el extremo de la misma una plancha fijada con tuerca, simulando una especie de empotramiento (Ver Figura III.61).



Figura III.63: Gato Hidráulico y Posición del gato en Sistema de Anclaje.

Preparado el equipo en el anclaje se enciende produciendo una fuerza de tracción sobre la barra de acero, hasta resistencia máxima mostrando un comportamiento de falla del sistema (Ver Figura III.62).



Figura III.64: Un tipo de Falla del Sistema de Anclaje.

Las lecturas de las fuerzas máximas ejercidas sobre los sistemas fueron registradas para posteriores análisis.



Figura III.65: Viguetas con los anclajes extraídos por Tracción.

Las fuerzas de tracción resultantes de los ensayos realizados son valores que expresan la tracción total del sistema, por lo que no es directa la cuantificación de las tensiones ejercidas por el concreto y la resina. La fuerza total será una sumatoria de la fuerza a tracción ejercida por el cono de concreto como por el epóxico (*Ecuación III.34*).

$$F = F_{cono} + F_{epoxico} \quad (\text{Ecuación III.34})$$

$$F_{cono} = A_l \times \% f'_C \quad (\text{Ecuación III.35})$$

$$F_{epoxico} = A_l \times \sigma_{adh} \quad (\text{Ecuación III.36})$$

Donde:

F : Fuerza Total de Tracción del sistema de anclaje.

F_{cono} : Fuerza de tracción ejercida por el concreto.

$F_{epoxico}$: Fuerza de tracción ejercida por el epóxico.

A_l : Área lateral o superficial.

σ_{adh} : Esfuerzo de adherencia (calculado según Sección III.7).

$\%$: Porcentaje de la resistencia del concreto por tracción.

Los ensayos para medir la resistencia a la tracción del concreto dan dispersiones mayores que las pruebas a la compresión. Por esta razón, o porque esos ensayos cuentan con menor tradición y difusión que los de compresión, es muy frecuente calcular la magnitud de esa característica como una función de la resistencia a la compresión. No hay una relación precisa, invariable, entre la resistencia a la compresión del concreto y su resistencia a la tracción. Sobre ambas resistencias actúan de manera diferente varias de las características del material.

Para expresar la relación entre la tensión de tracción por flexión (Fr) y la resistencia a la compresión como una función, la siguiente ecuación se adapta bastante bien:

$$Fr = K \times R^n \quad (\text{Ecuación III.39})$$

Por razones de comodidad, en algunas normas el valor de n se considera fijo, ya que no varía notablemente. Con frecuencia se iguala a $1/2$, aunque

ocasionalmente se ha empleado 2/3. El valor de K depende de las características de los componentes, en especial de la rugosidad de los agregados. Para los materiales nacionales se encuentra un buen ajuste con:

$$Fr = 0,74 \times R^{0,7} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

La resistencia a tracción pura (T), es un porcentaje de Fr, en orden de:

$$T = 0,55 \times Fr \text{ (Ecuación III.40)}$$

Finalmente se obtiene el % de relación entre la resistencia a compresión y tracción del concreto:

$$\% = (T / f'_c) \times 100\% \text{ (Ecuación III.41)}$$

El valor usado en el presente trabajo de grado, se estableció de acuerdo a un proceso de tanto a un mejor ajuste de los % obtenidos por cada resistencia.

III.10. AJUSTE DE DISEÑO

El ajuste de diseño, consiste en determinar la longitud mínima de ancla (L) de la barra roscada, tal que se produzca una falla por rotura del acero, mas no por deslizamiento de la resina ni por fractura del concreto.

Se hace posible cuantificar dicho valor por los resultados obtenidos de fuerza de adherencia de la resina como también mediante la $F_{\text{máx}}$ de las barras ensayadas.

En función de estos datos se podreció a calcular:

$$L = \frac{F_{\text{máx}} \times \Phi}{\sigma_{adh} \times P} \text{ (Ecuación III.43)}$$

Donde:

$F_{\text{máx}}$: Fuerza máxima de las barras.

\emptyset : Factor de minoración del acero.

σ_{adh} : Esfuerzo de adherencia de la resina.

P: Perímetro de la barra con resina.

CAPITULO IIIV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV.1. RESULTADOS

IV.1.1. GRANULOMETRÍA

IV.1.1.1. Agregado Grueso

Realizado los lineamientos para la caracterización granulométrica del agregado grueso según lo describe la Norma COVENIN 255-77 “Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica” se obtuvo que la configuración granulométrica de la muestra posee una tendencia estándar de agregado grueso con tamaño máximo igual a 1” (Ver Tabla IV.1, Tabla IV.2 y Gráfica IV.1).

Tabla IV.1: Datos de granulometría del Agregado Grueso

Análisis Granulométrico	
Material	Piedra 1"
Peso sin Lavar + Bandeja (gr)	23,87
Peso sin Lavar (Kg)	23,44
Peso de la Bandeja (Kg)	0,43
Peso Lavado + Bandeja (Kg)	23,43
Peso Lavado (Kg)	23

Tabla IV.2: Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz	Abertura de Tamiz (mm)	Peso de Material retenido + Bandeja	Peso (kg)	% Retenido	% Acum.	% Pasante	Limite Superior	Limite Inferior
1 1/2"	38,1	0,43	0,00	0,00	0,00	100,00		
1"	25,4	1,13	0,70	3,04	3,04	96,96	100	90
3/4"	19,1	8,55	8,12	35,32	38,36	61,64	90	50
1/2"	12,7	11,50	11,07	48,15	86,52	13,48	45	15
3/8"	9,5	3,26	2,83	12,31	98,83	1,17	20	0
1/4"	6,35	0,64	0,21	0,91	99,74	0,26	7	0
Nº 4	4,76	0,43	0,00	0,00	99,74	0,26	0	0
Nº 8	2,38	0,49	0,06	0,26	100,00	0,00	0	0
Nº 200	0,074	0,43	0,00	0,00	100,00	0,00		
Fondo	Fondo	0,43	0,00	0,00	100,00	0,00		
		Total	22,99	100,00				



Grafica IV.1: Curva Granulométrica del Agregado Grueso.

IV.1.1.2. Agregado Fino

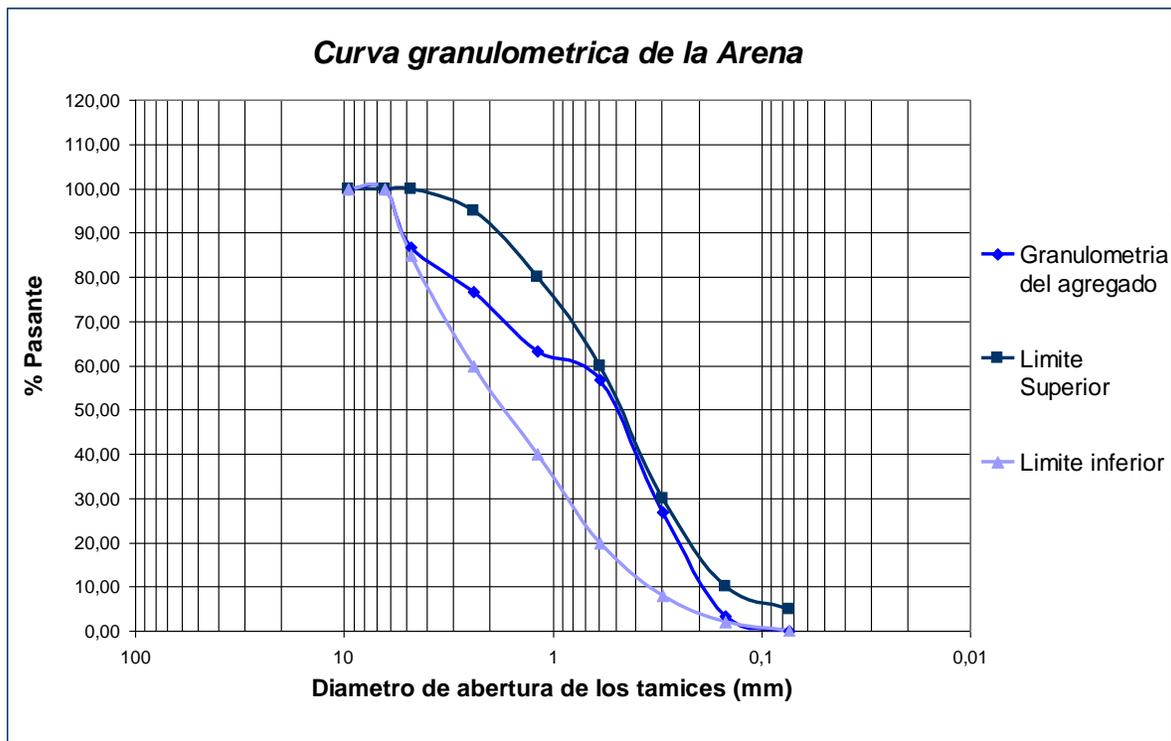
Según procedimientos de la norma COVENIN 255-77, muestra en la curva granulométrica la distribución de los porcentajes pasantes y retenidos obtenidos del proceso de tamizado, permitiendo calificarlos como aceptables al encontrar dentro de los límites característicos establecidos por la norma (Ver *Tabla IV.3*, *Tabla IV.4* y *Grafico IV.2*). Esta Característica es determinante en la calidad resultante del concreto, de igual forma con el agregado grueso.

Tabla IV.3: Datos de granulometría del Agregado Fino

Análisis Granulométrico	
Material:	Arena Natural
Peso sin Lavar + Bandeja (gr)	0,687
Peso sin Lavar (gr)	0,485
Peso de la Bandeja (gr)	0,202
Peso Lavado + Bandeja (gr)	0,692
Peso Lavado (grs)	0,49

Tabla IV.4: Granulometría del Agregado Fino

Tamiz	Abertura de Tamiz (mm)	Peso de Material retenido + Bandeja	Peso (kg)	% Retenido	% Acum.	% Pasante	Limite Superior	Limite Inferior
1/2"	12,7	0,202	0,000	0,00	0,00	100,00		
3/8"	9,5	0,202	0,000	0,00	0,00	100,00	100	100
1/4"	6,35	0,202	0,000	0,00	0,00	100,00	100	100
No 4	4,76	0,269	0,067	13,37	13,37	86,63	100	85
Nº 8	2,38	0,252	0,050	9,98	23,35	76,65	95	60
Nº 16	1,19	0,269	0,067	13,37	36,73	63,27	80	40
Nº 30	0,595	0,235	0,033	6,59	43,31	56,69	60	20
Nº 50	0,298	0,352	0,150	29,94	73,25	26,75	30	8
Nº 100	0,149	0,319	0,117	23,35	96,61	3,39	10	2
Nº 200	0,074	0,219	0,017	3,39	100,00	0,00	5	0
Fondo	Fondo	0,202	0,000	0,00	100,00	0,00		
		Total	0,50					



Grafica IV.2: Curva Granulometrica del Agregado Fino.

IV.1.2. HUMEDAD, PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

IV.1.2.1. Agregado Grueso

Los resultados obtenidos de porcentaje de humedad, absorción y peso unitario de acuerdo a los ensayos propuestos por la COVENIN 269, "Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción" y CONVENIN 263 "Método de Ensayo para la Determinar el Peso Unitario del Agregado" respectivamente son los siguientes:

Tabla IV.5: Densidad, Absorción y Peso Específico del Agregado Grueso.

Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	W_2 (gr)	5000
Peso en el aire de la muestra seca	W_1 (gr)	4948
Peso en el agua de la muestra saturada	W_3 (gr)	3121
Peso específico saturado con superficie seca	γ_s (gr/cm ³)	2,66
% de Absorción	A_b (%)	1,05
Densidad aparente con muestra saturada y superficie seca	ρ_a (g/ml)	2,66
Densidad Nominal con muestra saturada y superficie seca	ρ (g/ml)	2,71
% Humedad	w (%)	0,00

Al igual que los demás parámetros que definen la calidad de la mezcla de concreto proyectada, estos datos son influyentes en la resistencia de la misma.

IV.1.2.2. Agregado Fino

Los resultados obtenidos del modulo de finura, humedad, absorción y peso unitario de acuerdo a los ensayos propuestos por la COVENIN 268, "Agregado Fino. Determinación de la densidad y la absorción" y CONVENIN 263 "Método de

Ensayo para la Determinar el Peso Unitario del Agregado” respectivamente son los mostrados en la *Tabla IV.6.* y *Tabla IV.7.*

Tabla IV.6: Densidad, Absorción y Peso Unitario del Agregado Fino.

Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	W (gr)	500
Peso en el aire de la muestra seca	W_1 (gr)	488
Peso del picnómetro con agua	W_a (gr)	1093
Peso del picnómetro con muestra+agua	W_p (gr)	1412
Peso específico saturado con superficie seca	γ_s (gr/cm ³)	2,76
% de Absorción	A_b (%)	2,46
Densidad aparente con muestra saturada y superficie seca	ρ_s (g/ml)	2,70
Modulo de finura		2,87

Tabla IV.7: Humedad del Agregado Fino.

Peso aire muestra húmeda	W (g)	664
Peso aire muestra seca	W_1 (g)	629
Peso agua	W_a (g)	35
Contenido de humedad	w (%)	5,56

IV.1.3. DISEÑO DE MEZCLA Y DOSIFICACIÓN

Para determinar las porciones de cada uno de los materiales necesarios para la elaboración de las mezclas de concreto de diversas resistencias, se calculó el diseño de mezcla para cada una. Las dosificaciones calculadas hacen presentar un cierto grado de imprecisión ya que las variables que condicionan la calidad y el comportamiento del concreto son numerosas y difíciles de precisar.

Las siguientes tablas registran los datos, cálculos realizados, los factores de corrección usados y las dosificaciones de cada una de las mezclas realizadas en una unidad de Kg/m^3 .

Tabla IV.8: Datos generales usados para todas las mezclas.

Relación β	0,45
Peso unitario del agregado fino (γ_A)	2,76
Peso unitario del agregado grueso (γ_G)	2,66
Promedio ponderado del agregado combinado (γ_{A-G})	2,71

Tabla IV.9: Datos de la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm².

Datos para M-1 (220 Kg/cm ²)	
R (kf/cm ²)	220
Cuartil (9%)	-1,34
Desviación estándar (σ)	20
F _{cr} (Kgf)	247
M	902,5
N	8,69
P	25,4
T (cm)	12,7

Tabla IV.10: Factores de corrección para la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm².

Factores de corrección para M-1 (220 Kg/cm ²)	
K _R	1,00
K _A	0,91
C ₁	1,00
C ₂	0,90
α_C	0,545

Tabla IV.11: Datos calculados para dosificación de la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm².

Datos calculados para dosificación de M-1 (220 Kg/cm ²)	
Alfa α_c	0,599
Alfa corregido α_c	0,545
Cemento (kg)	387,56
C corregido (kg)	348,80
Agua (lt/m ³)	191
V _C (lt/m ³)	105
V aire (l/m ³)	13,7
A + G (kg)	1870
A (kg)	842
G (kg)	1028
V _A (lt/m ³)	312
V _G (lt/m ³)	380
Agua total (lt/m ³)	190

Tabla IV.12: Dosificación de la Mezcla 1 de resistencia 220 Kg/cm².

Dosificación para 0,5 m ³ de M-1 (220 Kg/cm ²)	
Materiales	Cantidad
Agua (lt)	95
Cemento (Kg)	174,40
Arena (Kg)	421,00
Piedra 1" (Kg)	514,00

Tabla IV.13: Datos de la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm².

Datos para M-2 (250 Kg/cm ²)	
R (kf/cm ²)	250
Cuartil (9%)	-1,34
Desviación estándar (σ)	20
F _{cr} (Kgf)	277
M	902,5
N	8,69
P	25,4
T (cm)	12,7

Tabla IV.14: Factores de corrección para la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm².

Factores de corrección para M-2 (250 Kg/cm ²)	
K _R	1,00
K _A	0,91
C ₁	1,00
C ₂	0,90
α_c	0,497

Tabla IV.15: Datos calculados para dosificación de la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm².

Datos calculados para dosificación de M-2 (250 Kg/cm ²)	
Alfa α_c	0,546
Alfa corregido α_c	0,497
Cemento (kg)	437,20
C corregido (kg)	393,48
Agua (lt/m ³)	196
V _C (lt/m ³)	119
V aire (l/m ³)	15,5
A + G (kg)	1815
A (kg)	817
G (kg)	998
V _A (lt/m ³)	302
V _G (lt/m ³)	369
Agua total (lt/m ³)	195

Tabla IV.16: Dosificación de la Mezcla 2 de resistencia 250 Kg/cm².

Dosificación para 0,5m ³ de M-2 (250 Kg/cm ²)	
Materiales	Cantidad
Agua (lt)	98
Cemento (Kg)	196,74
Arena (Kg)	408,50
Piedra 1" (Kg)	499,00

Tabla IV.17: Datos de la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm².

Datos para M-3 (180 Kg/cm ²)	
R (kf/cm ²)	180
Cuartil (9%)	-1,34
Desviación estándar (σ)	20
F _{cr} (Kgf)	207
M	902,5
N	8,69
P	25,4
T (cm)	12,7

Tabla IV.18: Factores de corrección para la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm².

Factores de corrección para M-3 (180 Kg/cm ²)	
K _R	1,00
K _A	0,91
C ₁	1,00
C ₂	0,90
α_C	0,619

Tabla IV.19: Datos calculados para dosificación de la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm².

Datos calculados para dosificación de M-3 (180 Kg/cm ²)	
Alfa α_c	0,680
Alfa corregido α_c	0,619
Cemento (kg)	328,18
C corregido (kg)	295,36
Agua (lt/m ³)	183
V _C (lt/m ³)	89
V aire (l/m ³)	11,6
A + G (kg)	1941
A (kg)	874
G (kg)	1067
V _A (lt/m ³)	323
V _G (lt/m ³)	395
Agua total (lt/m ³)	182

Tabla IV.20: Dosificación de la Mezcla 3 de resistencia 180 Kg/cm².

Dosificación para 0,5 m3 de M-3 (180 Kg/cm ²)	
Materiales	Cantidad
Agua (lt)	91
Cemento (Kg)	147,68
Arena (Kg)	437,00
Piedra 1" (Kg)	533,50

IV.1.4. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

IV.1.4.1. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO DE LA VIGUETAS

Después de realizado el procedimiento contemplado en el punto 8.2 de la Norma COVENIN 1976-2003 “Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayo” y en la Norma COVENIN 1681:1980 “Método de Ensayo Para Determinar la Velocidad de Propagación de Onda en el Concreto” para cada tipo de mezcla realizada se obtuvieron los resultados señalados en las siguientes tablas y gráficas:

Tabla IV.21: Velocidad de pulso ultrasónico en probetas de la mezcla 1 (220 Kg/cm²).

Cilindros	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Longitud (cm)	Longitud (m)	Tiempo (μ seg.)	Tiempo (seg.)	Velocidad (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
1	220	15	0,15	37,5	3,8x10 ⁻⁰⁵	4.000,0	3.985,9
2		15	0,15	37,9	3,8x10 ⁻⁰⁵	3.957,8	
3		15	0,15	37,5	3,8x10 ⁻⁰⁵	4.000,0	

Tabla IV.22: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de la mezcla 1 (220 Kg/cm²).

Resistencia	Promedio	desviación	Coef. de variación
220	3.985,9	594,074	14,9043

Tabla IV.23: Velocidad de pulso ultrasónico en probetas de la mezcla 2 (250 Kg/cm²).

Cilindros	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Longitud (cm)	Longitud (m)	Tiempo (μ seg.)	Tiempo (seg.)	Velocidad (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
7	250	15	0,15	36,9	3,7x10 ⁻⁰⁵	4.065,0	4.039,8
8		15	0,15	37,6	3,8x10 ⁻⁰⁵	3.989,4	
9		15	0,15	36,9	3,7x10 ⁻⁰⁵	4.065,0	

Tabla IV.24: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de la mezcla 2 (250 Kg/cm²).

Resistencia	Promedio	desviación	Coef. de variación
250	4.039,8	1909,101	47,2571

Tabla IV.25: Velocidad de pulso ultrasónico en probetas de la mezcla 3 (180 Kg/cm²).

Cilindro	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Longitud (cm)	Longitud (m)	Tiempo (μ seg.)	Tiempo (seg.)	Velocidad (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
1	180	15	0,15	43,5	4,4x10 ⁻⁰⁵	3.448,3	3.419,6
2		15	0,15	43,8	4,4x10 ⁻⁰⁵	3.424,7	
3		15	0,15	44,3	4,4x10 ⁻⁰⁵	3.386,0	

Tabla IV.26: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de la mezcla 3 (180 Kg/cm²).

Resistencia	Promedio	desviación	Coef. de variación
180	3.419,6	988,267	28,8997

Tabla IV.27: Velocidad de pulso ultrasónico en viga que fue sometida a flexión.

Cilindros	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Longitud (cm)	Longitud (m)	Tiempo (μ seg.)	Tiempo (seg.)	Velocidad (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
1	275	30	0,3	77,3	7,7x10 ⁻⁰⁵	3.881,0	3.856,1
2		30	0,3	77,8	7,8E ⁻⁰⁵	3.856,0	
3		30	0,3	78,3	7,8x10 ⁻⁰⁵	3.831,4	

Tabla IV.28: Coeficiente de variación de pulso ultrasónico en viga que fue sometida a flexión.

Resistencia	Promedio	desviación	Coef. de variación
275	3.856,1	614,19	15,9276

IV.1.4.2. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE CONCRETO

Se realizaron ensayos de compresión a los 3, 7, 14, 21 y 28 días. Para cada tipo de mezcla se ensayaron 3 cilindros para confirmar las resistencias de los mismos, además de seguir el cumplimiento de los criterios establecidos en la Norma COVENIN 338:2002 “*Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto*”. Los valores de resistencia obtenidos de los ensayos de compresión simple de los tres cilindros de concreto curados en agua para cada tipo de resistencia de diferentes edades, se observan en las siguientes tablas: *Tablas IV.29, Tablas IV.30, Tablas IV.31, Tablas IV.32, Tablas IV.33, Tablas IV.34, Tablas IV.35, Tablas IV.36, Tablas IV.37, Tablas IV.38, Tablas IV.39, Tablas IV.40, Tablas IV.41, Tablas IV.42, Tablas IV.43.*

Las resistencias reales de las probetas se muestran en la *Gráfica IV.3* para la mezcla 1 (220 Kg/cm²), *Gráfica IV.4* para la mezcla 2 (250 Kg/cm²) y *Gráfica IV.5* para la mezcla 3 (180 Kg/cm²).

Tabla IV.29: Resistencia de probetas a compresión simple a los 3 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm²).

M-1 a los 3 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-1 220 N-5 A	17/03/2009	12,600	14,94	30,26	24000	135,57	128,05	20/03/2009
			15,05					
			15,05					
M-1 220 N-5 B	17/03/2009	12,500	15,00	30,12	22400	127,32		
			14,98					
			14,92					
M-1 220 N-5 C	17/03/2009	12,200	15,09	30,10	21400	121,26		
			14,98					
			14,90					

Tabla IV.30: Resistencia de probetas a compresión simple a los 7 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm²).

M-1 a los 7 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-1 220 N-5 A	17/03/2009	12,449	15,02	29,01	27400	155,33	152,69	25/03/2009
			15,01					
			14,93					
M-1 220 N-5 B	17/03/2009	12,315	14,95	31,40	26600	151,87		
			15,00					
			14,85					
M-1 220 N-5 C	17/03/2009	12,315	14,94	29,94	26400	150,86		
			14,95					
			14,89					

Tabla IV.31: Resistencia de probetas a compresión simple a los 14 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm²).

M-1 a los 14 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-1 220 N-5 A	17/03/2009	12,500	15,02	30,02	34200	193,10	186,05	31/03/2009
			15,00					
			15,03					
M-1 220 N-5 B	17/03/2009	12,400	14,91	30,15	32600	186,63		31/03/2009
			14,92					
			14,91					
M-1 220 N-5 C	17/03/2009	12,500	14,89	30,09	31000	178,42		31/03/2009
			14,87					
			14,86					

Tabla IV.32: Resistencia de probetas a compresión simple a los 21 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm²).

M-1 a los 21 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-1 220 N-5 A	17/03/2009	12,483	15,01	30,06	35200	198,93	208,83	07/04/2009
			15,01					
			15,01					
M-1 220 N-5 B	17/03/2009	12,503	14,93	30,12	36800	210,20		07/04/2009
			14,93					
			14,93					
M-1 220 N-5 C	17/03/2009	12,498	14,88	30,06	37800	217,37		07/04/2009
			14,88					
			14,88					

Tabla IV.33: Resistencia de probetas a compresión simple a los 28 días de Mezcla 1 (220 Kg/cm²).

M-1 a los 28 días										
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo		
M-1 220 N-5 A	17/03/2009	12,51	14,88	30,03	40800	232,01	223,68	14/04/2009		
			14,96							
			15,05							
M-1 220 N-5 B	17/03/2009	12,378	14,99	29,91	37800	214,76		223,68	14/04/2009	
			14,99							
			14,93							
M-1 220 N-5 C	17/03/2009	12,372	14,93	30,03	39400	224,25			223,68	14/04/2009
			14,96							
			14,98							

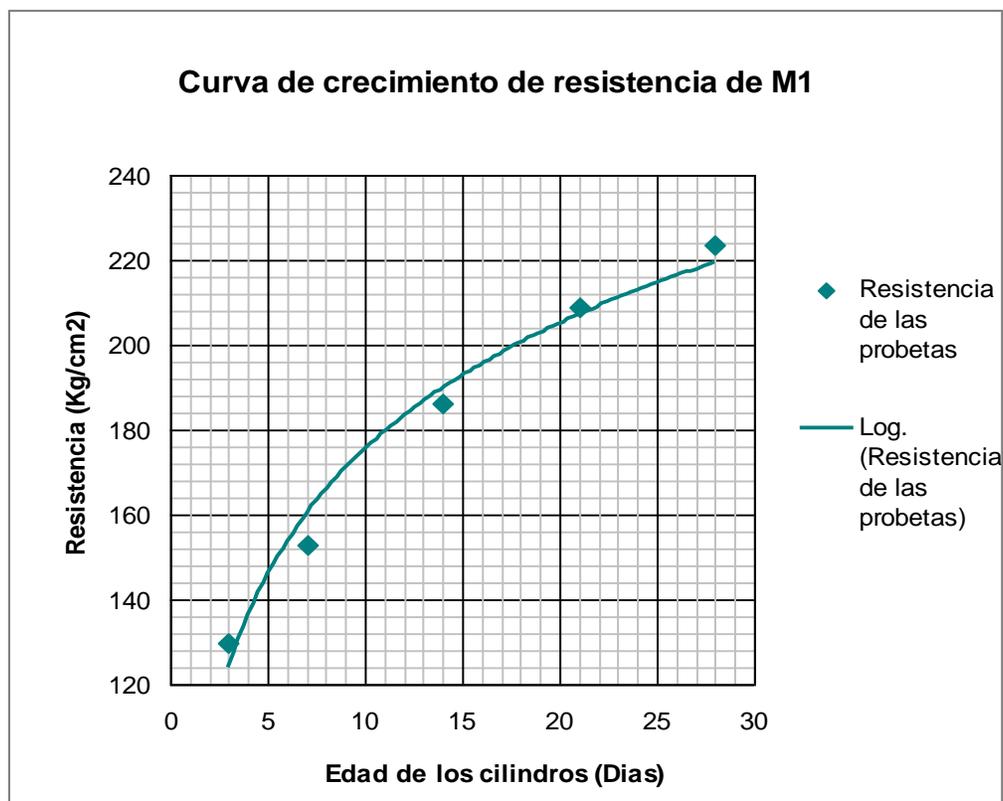
**Grafica IV.3:** Curva de crecimiento de resistencia de la mezcla 1 (220 Kg/cm²).

Tabla IV.34: Resistencia de probetas a compresión simple a los 3 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm²).

M-2 a los 3 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-2 250 N-5 A	18/03/2009	11,831	14,92	29,95	26600	151,67	159,59	21/03/2009
			14,95					
			14,96					
M-2 250 N-5 B	18/03/2009	11,913	14,91	30,04	28400	163,46		21/03/2009
			14,91					
			14,80					
M-2 250 N-5 C	18/03/2009	11,933	14,81	30,00	28200	163,63		21/03/2009
			14,82					
			14,81					

Tabla IV.35: Resistencia de probetas a compresión simple a los 7 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm²).

M-2 a los 7 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-2 250 N-5 A	18/03/2009	12,151	14,95	29,86	32000	182,87	186,24	25/03/2009
			14,95					
			14,88					
M-2 250 N-5 B	18/03/2009	12,057	14,96	29,95	31800	181,48		25/03/2009
			14,93					
			14,92					
M-2 250 N-5 C	18/03/2009	12,180	14,95	30,23	34000	194,38		25/03/2009
			14,94					
			14,88					

Tabla IV.36: Resistencia de probetas a compresión simple a los 14 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm²).

M-2 a los 14 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-2 250 N-5 A	18/03/2009	12,176	14,92	30,14	37200	213,34	217,67	01/04/2009
			14,91					
			14,87					
M-2 250 N-5 B	18/03/2009	12,111	15,01	29,96	38000	215,42		01/04/2009
			14,96					
			14,99					
M-2 250 N-5 C	18/03/2009	12,129	15,00	30,13	39400	224,25		01/04/2009
			14,97					
			14,90					

Tabla IV.37: Resistencia de probetas a compresión simple a los 21 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm²).

M-2 a los 21 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-2 250 N-5 A	18/03/2009	12,183	14,98	30,15	42600	241,71	238,52	08/04/2009
			14,98					
			14,98					
M-2 250 N-5 B	18/03/2009	12,118	14,95	30,08	41800	238,12		08/04/2009
			14,95					
			14,95					
M-2 250 N-5 C	18/03/2009	12,135	14,99	30,25	41600	235,72		08/04/2009
			14,99					
			14,99					

Tabla IV.38: Resistencia de probetas a compresión simple a los 28 días de Mezcla 2 (250 Kg/cm²).

M-2 a los 28 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-2 250 N-5 A	18/03/2009	12,159	14,94	30,04	44800	256,47	252,55	15/04/2009
			14,95					
			14,85					
M-2 250 N-5 B	18/03/2009	12,155	15,09	30,05	44800	255,33	252,55	15/04/2009
			14,90					
			14,85					
M-2 250 N-5 C	18/03/2009	12,172	14,94	30,10	43000	245,84	252,55	15/04/2009
			14,94					
			14,89					

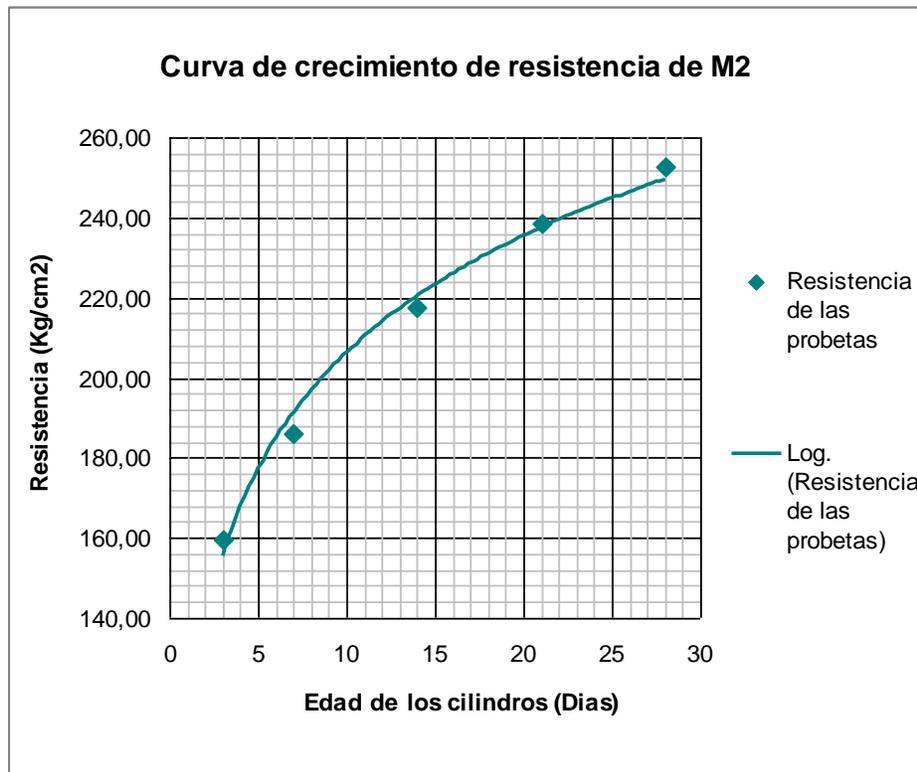
**Grafica IV.4:** Curva de crecimiento de resistencia de la mezcla 2 (250 Kg/cm²).

Tabla IV.39: Resistencia de probetas a compresión simple a los 3 días de Mezcla 3 (180Kg/cm²).

M-3 a los 3 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-3 180 N-5 A	24/03/2009	12,570	14,93	30,04	23600	134,80	131,42	27/03/2009
			14,95					
			14,91					
M-3 180 N-5 B	24/03/2009	12,211	14,87	29,93	23600	135,23		27/03/2009
			14,91					
			14,94					
M-3 180 N-5 C	24/03/2009	12,150	14,96	29,90	21800	124,24		27/03/2009
			14,96					
			14,92					

Tabla IV.40: Resistencia de probetas a compresión simple a los 7 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm²).

M-3 a los 7 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-3 180 N-5 A	24/03/2009	12,700	14,96	30,00	24400	139,00	150,27	31/03/2009
			14,96					
			14,93					
M-3 180 N-5 B	24/03/2009	12,700	14,96	30,01	26800	153,08		31/03/2009
			14,96					
			14,87					
M-3 180 N-5 C	24/03/2009	12,600	15,05	30,36	28000	158,73		31/03/2009
			15,00					
			14,91					

Tabla IV.41: Resistencia de probetas a compresión simple a los 14 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm²).

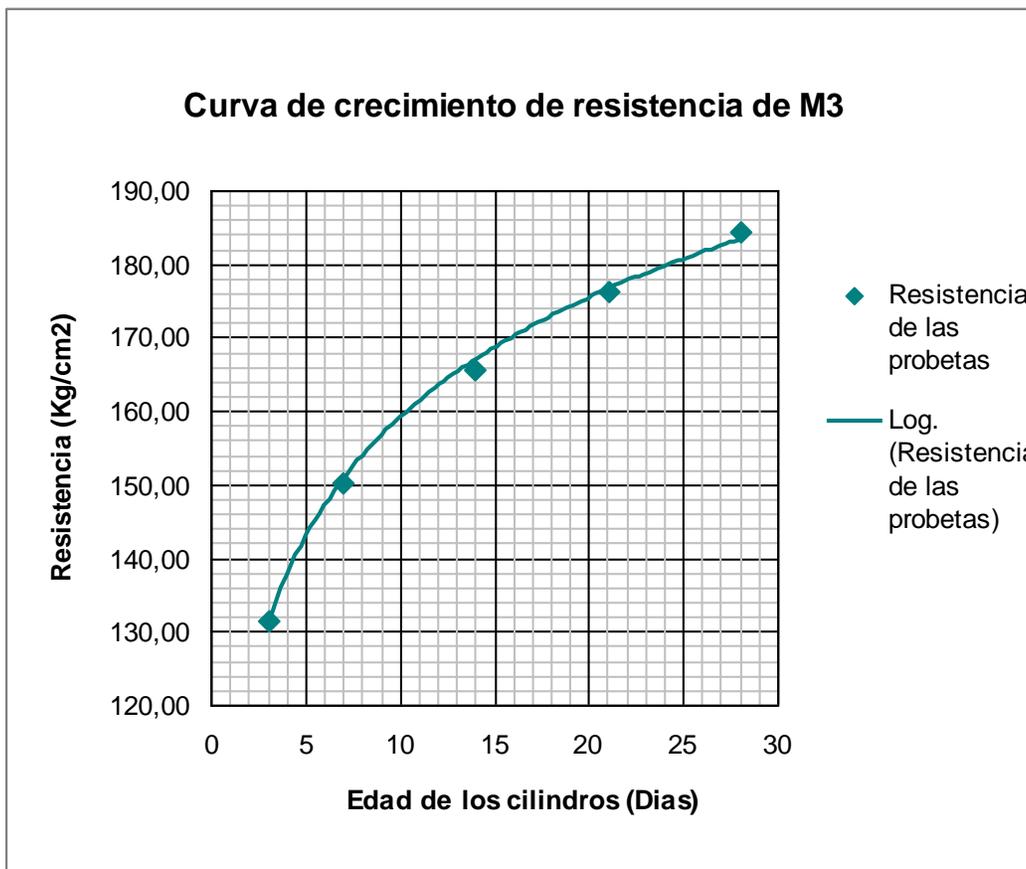
M-3 a los 14 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-3 180 N-5 A	24/03/2009	12,703	14,95	30,05	27200	154,95		07/04/2009
			14,95					
			14,95					
M-3 180 N-5 B	24/03/2009	12,710	14,96	30,10	30400	172,95	165,66	07/04/2009
			14,96					
			14,96					
M-3 180 N-5 C	24/03/2009	12,701	14,93	30,25	29600	169,08		07/04/2009
			14,93					
			14,93					

Tabla IV.42: Resistencia de probetas a compresión simple a los 21 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm²).

M-3 a los 21 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-3 180 N-5 A	24/03/2009	12,399	15,00	30,70	31200	176,95		14/04/2009
			15,05					
			14,90					
M-3 180 N-5 B	24/03/2009	12,292	14,90	29,90	29200	167,16	176,40	14/04/2009
			14,89					
			14,95					
M-3 180 N-5 C	24/03/2009	12,325	14,85	30,00	32200	185,08		14/04/2009
			14,78					
			15,02					

Tabla IV.43: Resistencia de probetas a compresión simple a los 28 días de Mezcla 3 (180 Kg/cm²).

M-3 a los 28 días								
Cilindro	Fecha de elaboración	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga máx. (Kg/F)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)	Fecha de ensayo
M-3 180 N-5 A	24/03/2009	12,390	14,91	30,16	31600	181,23	184,50	21/04/2009
			14,85					
			14,94					
M-3 180 N-5 B	24/03/2009	12,267	14,95	28,90	35400	201,76		21/04/2009
			14,97					
			14,92					
M-3 180 N-5 C	24/03/2009	12,441	14,97	30,17	30000	170,52		21/04/2009
			14,98					
			14,95					

**Grafica IV.5:** Curva de crecimiento de resistencia de la mezcla 3 (180 Kg/cm²).

IV.1.4.3. ENSAYO A COMPRESION DE NUCLEOS

A la vigueta que fue sometida a flexión, se le practico la extracción de núcleos con la finalidad de verificar la resistencia a compresión del concreto después de los daños ocasionados en ella, obteniendo lo siguiente:

Tabla IV.44: Resistencia de los núcleos a compresión para vigueta después de ser sometida a flexión.

Núcleo	Diámetro (cm)	Carga máx. (kgf)	f'c (kgf/cm ²)	f'c/0.85 (kgf/cm ²)	Resist Promedio (kgf/cm ²)
1	7,6	10400	229	269	275
2	7,5	10600	239	281	
	7,5	10200	232	273	

IV.1.4.4. TRACCIÓN DE LA BARRA ROSCADA

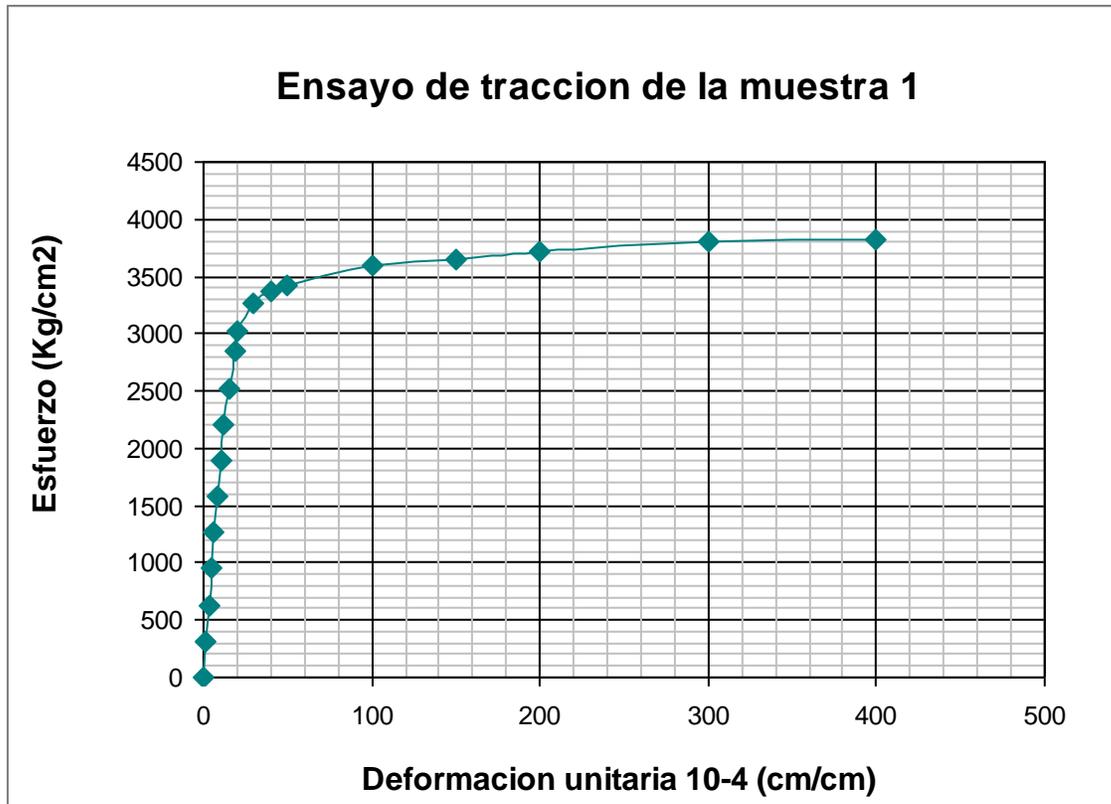
Para la caracterización de las barras roscadas de acero SAE Grado 2 de ½" de diámetro se realizaron ensayos de tracción a 3 barras de 70 cm de longitud siguiendo los lineamientos de la Norma COVENIN 299-89 "Materiales Metálicos. Ensayo de Tracción". A continuación se presentan los resultados de los esfuerzos obtenidos a partir de los ensayos en las siguientes tablas: *Tablas IV.46, Tablas IV.48 y Tablas IV.50*. El mismo permite conocer el límite elástico de la barra a utilizar para la construcción de los anclajes. Seguidamente se observa su respectiva gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria en las siguientes gráficas: *Grafica IV.7, Grafica IV.8 y Grafica IV.9*.

Tabla IV.45: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 1.

Muestra 1	
Fecha:	11/05/2009
N de ensayo	1
Longitud de la muestra	70 cm
Carga Max	4850 Kg
Diámetro	1/2" (1,27 cm)
Fy	3340 Kg/cm ²
Área (cm ²)	1,267
% de Alargamiento	11,25 %
Fuerza de cedencia	4231 Kg

Tabla IV.46: Datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 1.

Carga (Kg)	Deformación 0,01 (mm)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria 10 ⁻⁴ cm/cm
0	0	0,00	0
400	0,5	315,76	1
800	1,5	631,53	3
1200	2,5	947,29	5
1600	3,2	1263,06	6,4
2000	4,2	1578,82	8,4
2400	5,3	1894,58	10,6
2800	6,2	2210,35	12,4
3200	7,5	2526,11	15
3600	9,2	2841,88	18,4
3820	10	3015,55	20
4140	15	3268,16	30
4280	20	3378,68	40
4340	25	3426,04	50
4550	50	3591,82	100
4630	75	3654,97	150
4720	100	3726,02	200
4810	150	3797,06	300
4850	200	3828,64	400
4850	MAX	3828,64	



Grafica IV.6: Esfuerzo vs deformación unitaria de la muestra 1

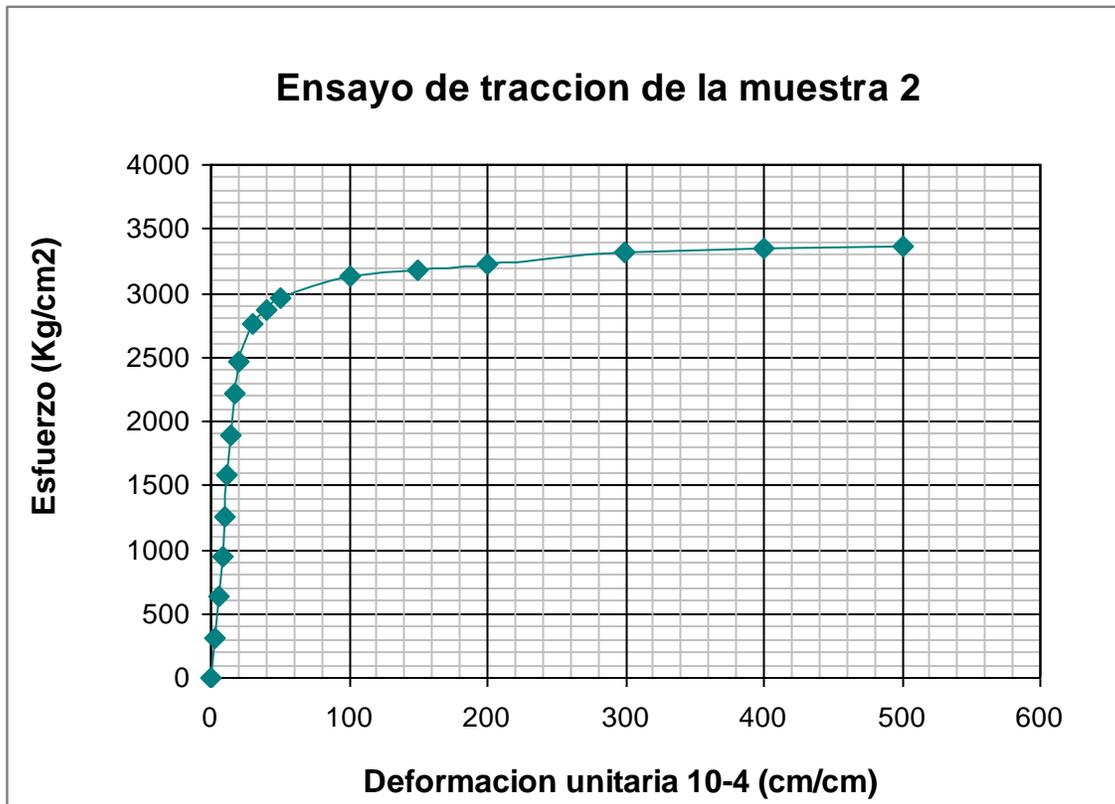
Tabla IV.47: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 2.

Muestra 2	
Fecha:	12/05/2009
N de ensayo	2
Longitud de la muestra	70 cm
Carga Max	4270 Kg
Diámetro	1/2" (1,27 cm)
Fy	2890 Kg/cm ²
Área (cm ²)	1,267
% de Alargamiento	7,5 %

Fuerza de cedencia	3661 Kg
--------------------	---------

Tabla IV.48: Datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 2.

Carga (Kg)	Deformación 0,01 (mm)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria 10 ⁻⁴ cm/cm
0	0	0,00	0
400	1,2	315,76	2,4
800	2,8	631,53	5,6
1200	4	947,29	8
1600	5,1	1263,06	10,2
2000	6,1	1578,82	12,2
2400	7,2	1894,58	14,4
2800	8,7	2210,35	17,4
3120	10	2462,96	20
3500	15	2762,94	30
3640	20	2873,45	40
3760	25	2968,18	50
3970	50	3133,96	100
4020	75	3173,43	150
4090	100	3228,69	200
4200	150	3315,52	300
4240	200	3347,10	400
4260	250	3362,89	500
4270	MAX	3370,78	



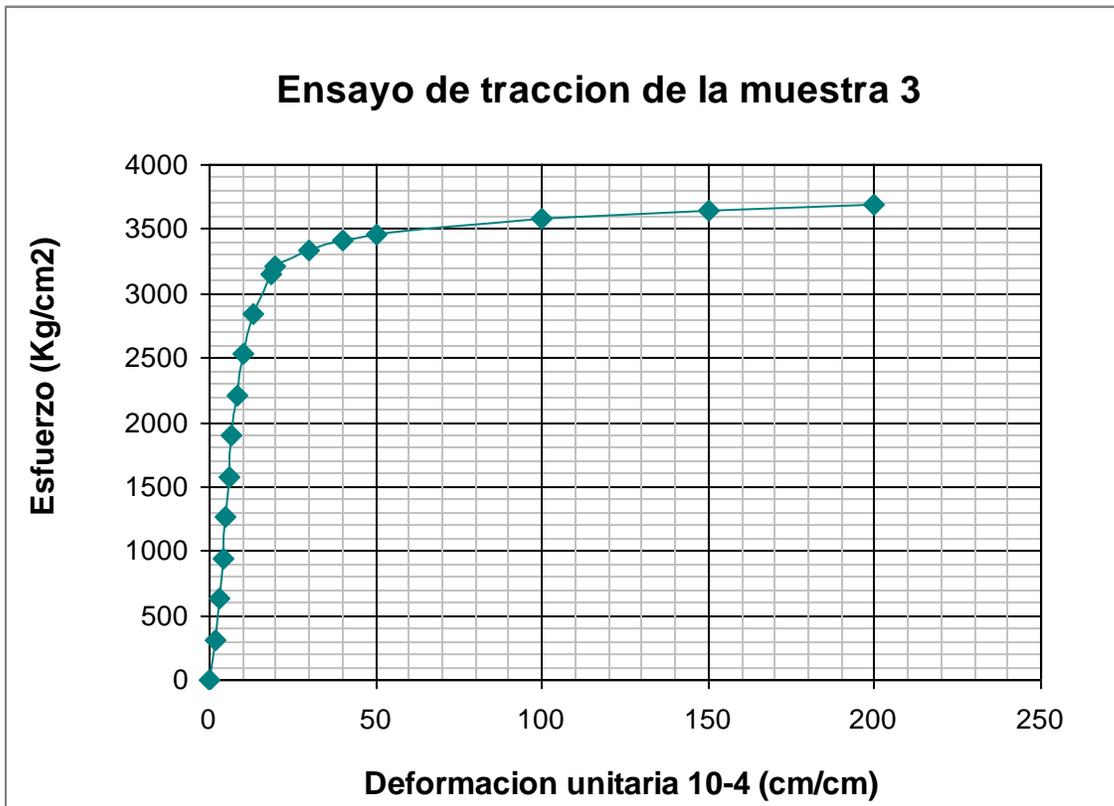
Grafica IV.7: Esfuerzo vs deformación unitaria de la muestra 2

Tabla IV.49: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 3.

Muestra 3	
Fecha:	12/05/2009
N de ensayo	3
Longitud de la muestra	70 cm
Carga Max	4850 Kg
Diámetro	1/2" (1,27 cm)
Fy	3380 Kg/cm ²
Área (cm ²)	1,267
% de Alargamiento	11,25 %
Fuerza de cedencia	4282 Kg

Tabla IV.50: Datos obtenidos del ensayo de tracción para la muestra 3.

Carga (Kg)	Deformación 0,01 (mm)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria 10 ⁻⁴ cm/cm
0	0	0,00	0
400	0,8	315,76	1,6
800	1,5	631,53	3
1200	2	947,29	4
1600	2,5	1263,06	5
2000	3,1	1578,82	6,2
2400	3,4	1894,58	6,8
2800	4,2	2210,35	8,4
3200	5,1	2526,11	10,2
3600	6,7	2841,88	13,4
4000	9,2	3157,64	18,4
4060	10	3205,00	20
4230	15	3339,20	30
4330	20	3418,15	40
4380	25	3457,62	50
4530	50	3576,03	100
4610	75	3639,18	150
4670	100	3686,55	200
4710	MAX	3718,12	



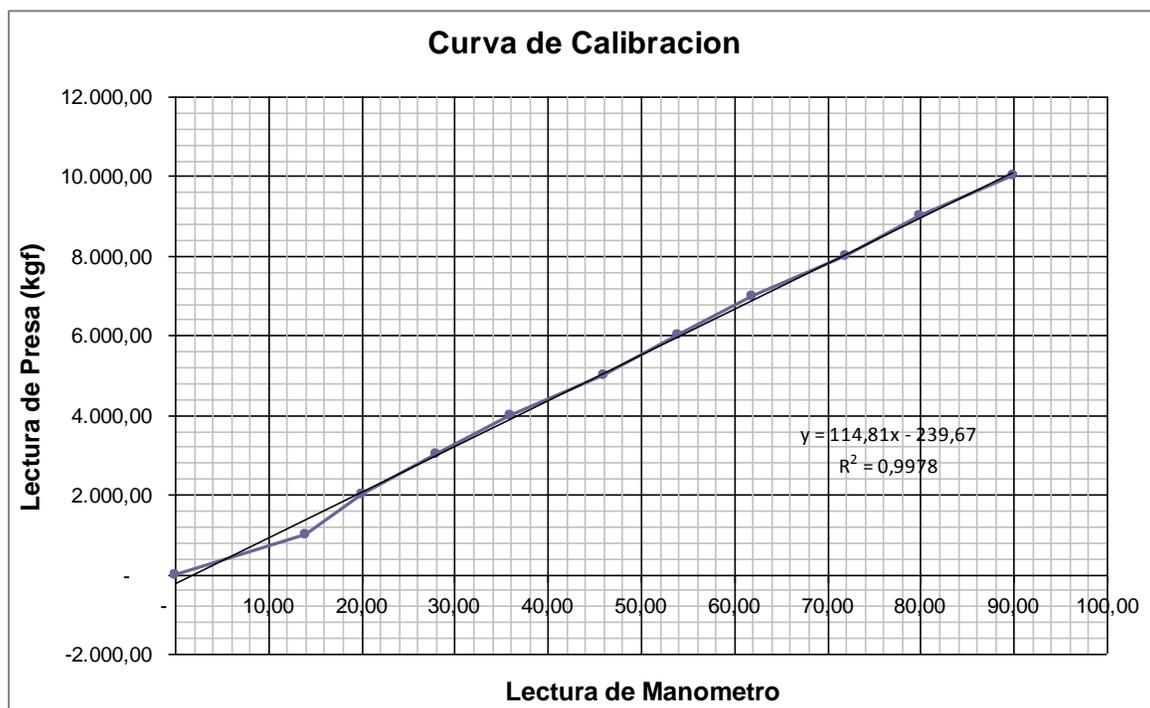
Grafica IV.8: Esfuerzo vs deformación unitaria de la muestra 3

IV.1.4.5. CALIBRACIÓN DEL GATO HIDRAULCO

Las lecturas del manómetro para cada carga evaluada, expresan un comportamiento lineal el cual se ajusto mediante una línea de tendencia. Las lecturas obtenidas para las cargas evaluadas en el Gato Hidráulico son las siguientes:

Tabla IV.51: Calibración del Gato Hidráulico.

Lectura de la Prensa (kgf)	Lectura del Manómetro			Promedio
	1	2	3	
0	0	0	0	0
1.000,00	14,00	14,00	14,00	14,00
2.000,00	20,00	20,00	20,00	20,00
3.000,00	28,00	28,00	28,00	28,00
4.000,00	36,00	36,00	36,00	36,00
5.000,00	46,00	46,00	46,00	46,00
6.000,00	54,00	54,00	54,00	54,00
7.000,00	62,00	62,00	62,00	62,00
8.000,00	72,00	72,00	72,00	72,00
9.000,00	80,00	80,00	80,00	80,00
10.000,00	90,00	90,00	90,00	90,00

**Gráfico IV.9:** Curva de Calibración del Gato Hidráulico.

IV.1.4.6. ADHERENCIA DE LA RESINA EPOXICA

Para la cuantificación de la capacidad de adherencia del epóxico se estableció una relación de fuerza y área de superficie interfacial del epóxico y el concreto. Los resultados registrados por la resina epóxica de *Quimicon* son los siguientes.

Tabla IV. 52.: Adherencia de la Resina Epóxica al Concreto.

Anclaje	Resist. del Concreto (kgf/cm ²)	Lectura del Manómetro	Fuerza (kgf)	Ø (cm)	h (cm)	Superficie (cm ²)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)	Ē (Kgf/cm ²)
1	180	18,00	1.817,8	1,650	4,034	41,822	43	51
2		20,00	2.046,4	1,678	3,310	34,898	59	
3	220	20,00	2.046,4	1,710	3,800	40,828	50	47
4		18,00	1.817,8	1,652	4,018	41,706	44	
5	250	18,00	1.817,8	1,620	3,768	38,354	47	43
6		16,00	1.589,2	1,658	3,942	41,066	39	
7	275	16,00	1.589,2	1,700	3,962	42,320	38	35
8		14,00	1.360,6	1,660	3,956	41,261	33	

La experiencia realizada en el sistema de anclaje para la cuantificación de la adherencia de la resina mostró un comportamiento deslizante del epóxico en el concreto al aplicar el ensayo de tracción sobre el mismo. Esto es importante, debido que en esta oportunidad no se buscaba estudiar el comportamiento de falla del concreto ni del acero, sino del epóxico como tal.

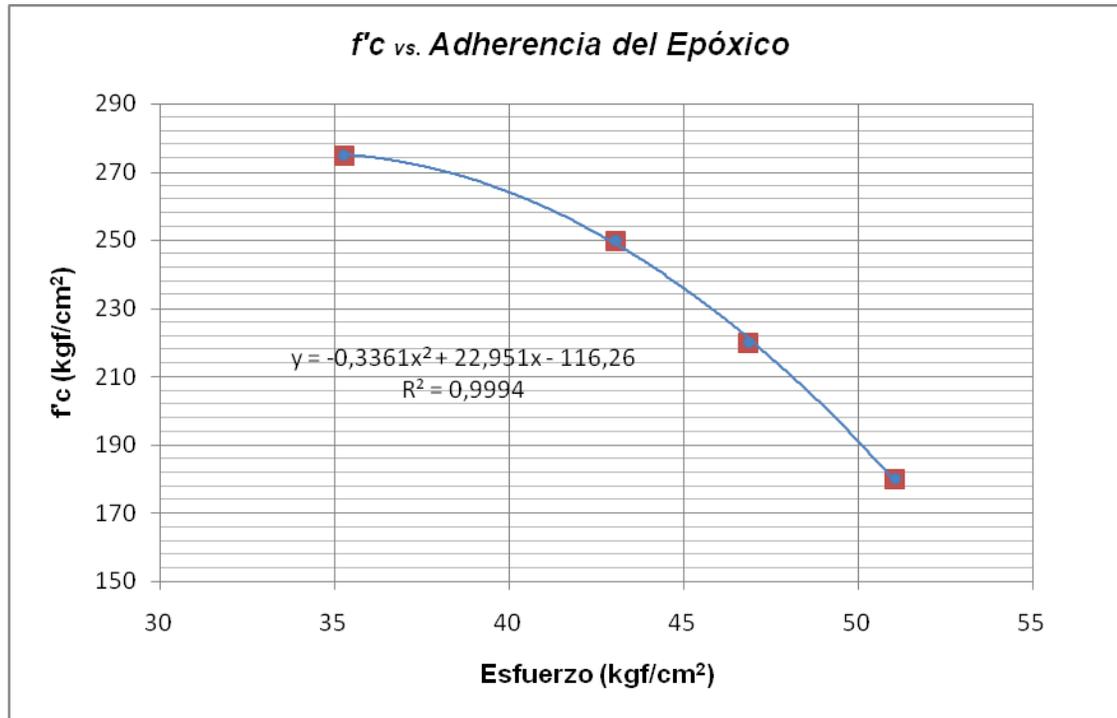


Grafico IV.10: Grafica de Adherencia del Epóxico vs. Resistencia del Concreto.

De acuerdo a los resultados obtenidos del esfuerzo de adherencia para las distintas resistencias del concreto, se logra sintetizar mediante la *Grafica IV.11*.

IV.1.5. ENSAYO A TRACCIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE (PULL OUT)

La extracción del sistema de anclajes para las distintas resistencias del concreto endurecido en el estudio por tracción, se muestra en las siguientes tablas. De igual forma se señala el comportamiento de falla de cada uno de los anclajes al aplicar el ensayo de Pull Out.

Tabla IV.53.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 180 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Lectura del Manómetro	Fuerza del anclaje (kgf)	Observación
1	1	180	38,00	4.103,80	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	2		34,00	3.646,60	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	3		36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
2	4	180	38,00	4.103,80	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	5		36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	6		36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico

Tabla IV.54.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 220 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Lectura del Nanómetro	Fuerza del anclaje (kgf)	Observación
3	7	220	38,00	4.103,80	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	8		32,00	3.418,00	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	9		30,00	3.189,40	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
4	10	220	38,00	4.103,80	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	11		38,00	4.103,80	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	12		32,00	3.418,00	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico

Tabla IV.55.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 250 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Lectura del Manómetro	Fuerza del anclaje (kgf)	Observación
5	13	250	36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	14		38,00	4.103,80	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	15		40,00	4.332,40	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
6	16	250	40,00	4.332,40	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	17		40,00	4.332,40	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	18		36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico

Tabla IV.56.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Lectura del Manómetro	Fuerza del anclaje (kgf)	Observación
7	19	275	32,00	3.418,00	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	20		36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	21		40,00	4.332,40	Falla de barra
8	22	275	36,00	3.875,20	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	23		20,00	2.046,40	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico
	24		20,00	2.046,40	Falla mixta, en concreto en forma de cono y deslizamiento del epóxico

En general los sistemas de anclajes mostraron un comportamiento de falla similar, no obstante, el análisis de los resultados se extiende más allá de estas características, por lo que se tomaron medida del diámetro y altura del cono de concreto, de igual forma el diámetro y altura de la capa de epóxico. Dichos resultados se ilustran en las *Tablas IV.57, IV.58, IV.59, IV.60.*

Tabla IV.57.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 180 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Diámetro del cono de concreto (cm)	Altura del cono de concreto (cm)	∅ de adherencia (cm)	h de adherencia (cm)
1	1	180	7,69	7,01	1,675	2,99
	2		5,70	5,29	1,675	4,71
	3		4,51	3,09	1,675	6,91
2	4	180	5,12	5,40	1,675	4,60
	5		8,56	5,94	1,675	4,06
	6		9,83	5,54	1,675	4,46

Tabla IV.58.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 220 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Diámetro del cono de concreto (cm)	Altura del cono de concreto (cm)	∅ de adherencia (cm)	h de adherencia (cm)
3	7	220	5,62	4,92	1,675	5,08
	8		5,43	3,46	1,675	6,54
	9		-	-	-	-
4	10	220	4,63	5,92	1,675	4,08
	11		8,72	4,23	1,675	5,77
	12		5,66	4,17	1,675	5,83

Tabla IV.59.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 250 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Diámetro del cono de concreto (cm)	Altura del cono de concreto (cm)	∅ de adherencia (cm)	h de adherencia (cm)
5	13	250	4,29	4,49	1,675	5,51
	14		6,66	5,30	1,675	4,70
	15		4,85	4,45	1,675	5,55
6	16	250	3,82	5,73	1,675	4,27
	17		6,77	4,45	1,675	5,55
	18		3,81	3,98	1,675	6,02

Tabla IV.60.: Medidas del cono de concreto y resina para Concreto 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Diámetro del cono de concreto (cm)	Altura del cono de concreto (cm)	Ø de adherencia (cm)	h de adherencia (cm)
7	19	275	5,81	2,50	1,675	7,50
	20		6,76	1,96	1,675	8,04
	21		-	-	-	-
8	22	275	9,33	2,33	1,675	7,67
	23		7,99	2,09	1,675	7,91
	24		7,01	2,48	1,675	7,52

La aplicación del ensayo de Pull Out, produce sobre el sistema de anclajes deformaciones físicas, que se muestran fácilmente visibles en el modo de falla de los componentes del conjunto. Sin embargo, hubo otras deformaciones menos perceptibles a la vista como es el estiramiento de la barra de acero aunque en el anclaje N° 21 presento rotura (Ver Tablas IV.61, IV.62, IV.63, IV.64).

Tabla IV.61.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 180 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Altura Inicial de la barra (cm)	Altura Final de la barra (cm)	% Estiramiento
1	1	180	22,20	22,20	0,000%
	2		22,60	22,60	0,000%
	3		22,10	22,10	0,000%
2	4	180	22,00	22,10	0,455%
	5		21,90	21,90	0,000%
	6		21,60	21,70	0,463%

Tabla IV.62.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 220 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Altura Inicial de la barra (cm)	Altura Final de la barra (cm)	% Estiramiento
3	7	220	22,20	22,20	0,000%
	8		22,30	22,30	0,000%
	9		22,30	22,30	0,000%
4	10	220	22,50	22,55	0,222%
	11		22,20	22,25	0,225%
	12		21,80	21,90	0,459%

Tabla IV.63.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 250 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Altura Inicial de la barra (cm)	Altura Final de la barra (cm)	% Estiramiento
5	13	250	22,10	22,20	0,452%
	14		21,50	21,60	0,465%
	15		22,40	22,50	0,446%
6	16	250	22,40	22,40	0,000%
	17		21,90	22,00	0,457%
	18		22,10	22,10	0,000%

Tabla IV.64.: Estiramiento de la barra de acero del sistema de anclajes para Concreto 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Altura Inicial de la barra (cm)	Altura Final de la barra (cm)	% Estiramiento
7	19	275	20,50	20,60	0,488%
	20		20,90	21,00	0,478%
	21		20,90	21,28	1,818%
8	22	275	20,30	20,40	0,493%
	23		22,60	22,70	0,442%
	24		24,30	24,40	0,412%

Los resultados mostrados hasta el momento reflejan el comportamiento del sistema como tal, sin embargo, es de importante en base a estos registros valorar la participación del concreto y de la resina epóxica. Para ello, se hace necesario discretizar de los resultados obtenidos del sistema, evaluando la fuerza de tracción ejercida por el cono de concreto y fuerza de resistencia de la resina (Ver tablas IV.65, IV.66, IV.67, IV.68).

Tabla IV.65.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Fuerza de tracción para el cono (Kg)	Fuerza de tracción promedio para el cono (Kg)	Fuerza de adherencia (Kg)	Fuerza Promedio de adherencia por epóxico (Kg)	FUERZA TOTAL DE TRACCIÓN (kg)
1	1	180	1.658,940	1.249,97	1.607,59	2.483,74	3.733,71
	2		960,988		2.529,58		
	3		484,637		3.713,78		
2	4	879,828	2.473,71				
	5	1.647,306	2.180,34				
	6	1.868,146	2.397,41				

Tabla IV.66.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Fuerza de tracción para el cono (Kg)	Fuerza de tracción promedio para el cono (Kg)	Fuerza de adherencia (Kg)	Fuerza Promedio de adherencia por epóxico (Kg)	FUERZA TOTAL DE TRACCIÓN (kg)
3	7	220	1.087,561	1.112,52	2.506,96	2.692,17	3.804,70
	8		794,178		3.223,94		
	9		23,689		-		
4	10	1.066,484	2.011,88				
	11	1.654,402	2.844,25				
	12	959,998	2.873,84				

Tabla IV.67.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Fuerza de tracción para el cono (Kg)	Fuerza de tracción promedio para el cono (Kg)	Fuerza de adherencia (Kg)	Fuerza Promedio de adherencia por epóxico (Kg)	FUERZA TOTAL DE TRACCIÓN (kg)
5	13	250	879,885	1.090,89	2.495,37	2.385,73	3.476,63
	14		1.574,891		2.129,31		
	15		980,601		2.512,58		
6	16	250	998,436		1.932,69		
	17		1.403,466		2.516,21		
	18		708,081		2.728,23		

Tabla IV.68.: Resultados del Ensayo de Tracción para Concreto de 275 kgf/cm²

Viga	Anclaje	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)	Fuerza de tracción para el cono (Kg)	Fuerza de tracción promedio para el cono (Kg)	Fuerza de adherencia (Kg)	Fuerza Promedio de adherencia por epóxico (Kg)	FUERZA TOTAL DE TRACCIÓN (Kg)
7	19	275	878,642	1.236,80	2.782,71	2.868,21	4.105,02
	20		995,305		2.983,11		
	21		29,611		-		
8	22	275	1.813,135		2.846,54		
	23		1.344,667		2.937,09		
	24		1.152,259		2.791,61		

IV.1.6. AJUSTE DE DISEÑO

Como se establece en la sección 3.9 de este trabajo, se procede a calcular las longitudes teóricas efectivas del anclaje, tal que su falla se presente por rotura del acero (*Tabla IV.69*).

Tabla IV.69.: Resultados del Ajuste de Diseño

Resistencia del concreto (Kg/cm ²)	Esfuerzo de adherencia (Kg/cm ²)	Fuerza máx. de diseño (Kg)	Perímetro (cm)	Longitud de anclaje (cm)
180	102	3.638	4,0	9
220	94	3.638	4,0	10
250	86	3.638	4,0	11
275	71	3.638	4,0	13

IV.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV.2.1. GRANULOMETRÍA

IV.2.1.1. Agregado grueso

Al observar la curva granulométrica del agregado grueso (piedra 1”) mostrada en la *Grafica IV.1* la cual muestra los porcentajes en peso del agregado que pasan por los tamices estandarizados en la Norma COVENIN 277 “*Concreto. Agregados. Requisitos*” y compararlos con los limites mostrados en la tabla 3 de la misma Norma, se pudo mostrar que el agregado obedece los requisitos de calidad encontrados en la Norma COVENIN 277.

Los valores de peso específico, densidad aparente y densidad nominal que se observan en la *Tabla IV.5* se encuentran dentro los valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados no livianos, según la tabla N 3.7 encontrada en la página 81 del “*Manual de Concreto Estructural*”.

IV.2.1.2. Agregado Fino

Al observar la curva granulométrica del agregado fino (arena) mostrada en la *Grafica IV.2* la cual muestra los porcentajes en peso del agregado que pasan por los tamices estandarizados en la Norma COVENIN 277 “*Concreto. Agregados. Requisitos*” y compararlos con los limites mostrados en la tabla 1 de la misma Norma, se pudo mostrar que el agregado obedece los requisitos de calidad encontrados en la Norma COVENIN 277

En la *Grafica IV.2* (gráfica de la curva granulométrica del agregado fino) se observó que el mayor porcentaje pasante corresponde a los tamices de menor abertura, lo cual indica que la arena usada es una fina.

Los valores de peso específico, densidad aparente y densidad nominal que se observan en la *Tabla IV.6* se encuentran dentro los valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados no livianos, según la tabla N 3.7 encontrada en la página 81 del “*Manual de Concreto Estructural*”.

IV.2.2. ENSAYOS

IV.2.2.1. Velocidad de pulso ultrasónico

La velocidad de propagación de las ondas de pulso ultrasónico es una función de la densidad y de las constantes elásticas del material a evaluar. En las viguetas de concreto estudiadas, las diferentes dosificaciones para cada una de las mezclas, se considera como un factor que genera variaciones en la densidad lo cual hace variar el recorrido y la velocidad de las ondas ultrasónicas, puesto que la misma extiende su viaje a medida que los atraviesa. Esto se debe a los tamaños y dimensiones máximas de los agregados gruesos para cada caso.

Existe un rango estandarizado para las velocidades de pulso ultrasónico del concreto, este rango se encuentra entre 2.000 y 5.000 m/s. En la *Tabla IV.21*, *Tabla IV.23*, *Tabla IV.25* y *Tabla IV.27* se observa que los valores de velocidades de pulso ultrasónico están dentro de este rango estandarizado.

Los valores de los coeficientes de variación, obtenidos a partir de la velocidad de propagación de ondas observados en la *Tabla IV.22*, *Tabla IV.24*, *Tabla IV.26* y *Tabla IV.28*, señalan que la dispersión obtenida cumple con los valores señalados

en la *Tabla XV.2* titulada “*Coefficientes de variación inherentes a los ensayos indicados*”, la cual se encuentra en la pág. 369 del “Manual del Concreto Estructural”.

IV.2.2.2. Compresión de cilindros de concreto

En las curva de crecimiento de resistencia del concreto para cada tipo de mezclas, las cuales se muestran en la *Grafica IV.3*, *Grafica IV.4* y *Grafica IV.5*, se puede observar una tendencia logarítmica, la cual se mantiene constante a partir de los 28 días de su vaciado. Por esto la resistencia promedio alcanzada para el ensayo a los 28 días, fue tomada como la resistencia real de la mezcla. En estos casos serán de 184 Kg/cm² para la mezcla diseñada para una resistencia de 180 Kg/cm², de 223,68 Kg/cm² para la mezcla diseñada para una resistencia de 220 Kg/cm² y de 252,55 Kg/cm² para la mezcla diseñada para una resistencia de 250 Kg/cm².

IV.2.2.3. Ensayo a compresión de núcleo de vigueta expuesta al ambiente

Los valores obtenidos para el núcleo A fue de 269,41 Kg/cm², el núcleo B de 281,18 Kg/cm² y para el núcleo C de 272,94 kg/cm²; mostrando que a pesar de que la resistencia inicial de dicha vigueta era de 353 Kg/cm², según el Trabajo de Grado de la Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, titulada “Caracterización de las barras reforzadas de fibra de vidrio como refuerzo del concreto armado” de Guillan Damni y Domínguez Alexander; fue disminuida en consecuencia que fue ensayada a flexión, lo cual debilitó la vigueta disminuyendo su resistencia, y valor agregado, se mantuvo expuesta al aire libre por un tiempo de aproximadamente tres años.

Adicionalmente vale destacar que los núcleos fueron extraídos del extremo y centro de la vigueta debido a que en dichas zonas las deformaciones de la vigueta fueron distintas al momento de aplicarse los esfuerzos flectores.

Los resultados obtenidos muestran una resistencia promedio de tendencia 275 Kg/cm².

IV.2.2.4. Tracción de barras roscadas

Estableciendo comparación entre los resultados de los límites elásticos, porcentaje de alargamiento y esfuerzo máximo admisible de las barras ensayadas, se presenta una discontinuidad de tendencia en la barra de la *muestra 2* caracterizada visualmente por un color más oscuro que las barras de la *muestra 1* y de la *muestra 3*. Dicho comportamiento es visible al comparar los resultados de la *Tabla IV.45*, *Tabla IV.47* y *Tabla IV.49*.

Debido a que la *muestra 2* en comparación de las otras muestras presentó una resistencia a tracción menor, se descartó al momento de realizar el sistema de anclajes.

IV.2.2.5. Resina epóxica

En los valores obtenidos de los ensayos para la caracterización del epóxico en viguetas de diferentes resistencias, se observa que a mayor resistencia del concreto menor será la adherencia existente entre el epóxico y el concreto, esto se debe a que a mayor resistencia del concreto existe mayor cantidad de pasta de cemento, lo cual crea una menor fricción entre el epóxico y el concreto.

IV.2.2.6. Ensayos a tracción del sistema de anclajes roscados (Pull out)

De los resultados obtenidos del ensayo de Pull out, se observa un decrecimiento de la fuerza promedio de extracción del anclaje a medida que aumenta la resistencia de la mezcla de concreto.

Al contrastar los valores del ensayo, con las estimaciones teóricas de las fuerzas que podría presentar el sistema, es posible decir que se conserva la tendencia de los mismos al realizar la experimentación. Sin embargo, la vigueta con resistencia de 250 kgf/cm² muestra un comportamiento atípico, al presentar menor aguante experimental con respecto a las estimaciones teóricas.

Es notable que la vigueta de condiciones físicas más desfavorables, los extremos ofrecieron menor resistencia a la extracción en comparación a los colocados en el centro de la misma, se infiere que la justificación de esta acción, es consecuencia del deterioro que presentaba está en las extremidades de la misma fisuración, lo cual afectaba tanto la adherencia del sistema de anclaje a la vigueta como la resistencia del soporte a la extracción.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1.CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados y de su análisis, se alcanzaron los objetivos propuestos para evaluar el comportamiento de las barras roscadas adheridas con resina epóxica en viguetas de diferentes resistencias y en una vigueta expuesta a condiciones desfavorables, de la siguiente forma:

- Se determinó tanto para el agregado grueso como para el agregado fino, la existencia de una granulometría que favorece la producción de concreto trabajable y con una resistencia mecánica.
- Se comprobó que la resistencia calculada en los diversos diseños de mezcla elaborados para las viguetas y cilindros de concreto, coincidió con la resistencia obtenida de los ensayos a compresión de las probetas de concreto, para cada una de las mezclas preparadas.
- Se demostró la homogeneidad de las viguetas de concreto elaboradas mediante el ensayo de pulso ultrasónico.
- Se caracterizaron las barras roscadas ensayándolas a tracción y chequeando el límite elástico, porcentaje de alargamiento y esfuerzo máximo admisible, lo cual aportó confiabilidad en su aplicación como anclaje mecánico.
- Los ensayo a compresión de los núcleos de la vigueta expuesta al ambiente, demostraron que una pieza de concreto al ser sometida a flexión y al dejarla expuesta al aire libre durante un tiempo considerable, pierde gran parte de su resistencia, lo cual en una estructura influye en la estabilidad de la misma requiriendo refuerzo.

- Se caracterizó la resina epóxica en pasta Venezolana usada en las viguetas de diferentes resistencias y en la expuesta a condiciones desfavorables, observando que a mayor resistencia del concreto menor será la adherencia existente entre el epóxico y el concreto, esto se debe a que a mayor resistencia del concreto existe mayor cantidad de pasta de cemento, lo cual crea una menor fricción entre el epóxico y el concreto. Con base a esta caracterización, se logro calcular la carga máxima teórica esperada para cada tipo de resistencia de las piezas de concreto empleadas en los ensayos.
- En el ensayo de extracción a tracción de los anclajes roscados (Pull out), se observó que las resistencias calculadas, a pesar de que son dispersas, presentan la misma tendencia que los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de la resina epóxica, comprobando que a mayor resistencia menor será la fuerza de adherencia. A pesar de ello hay una discrepancia en la mezcla de resistencia 250 Kg/cm^2 y aunque los valores son menores, tiene la misma tendencia. A pesar de ello se presenta un caso atípico en la mezcla de resistencia 250 Kg/cm^2 y aunque los valores son menores, tiene la misma tendencia.
- A pesar de las variaciones de resistencia del concreto y del uso de una vigueta expuesta a condiciones desfavorables, se observó el mismo tipo de falla mixta, la cual fue por deslizamiento de la barra y desprendimiento del concreto de forma cónica. Este comportamiento se atribuye a que lo longitud de empotramiento de la barra fue menor a la requerida.
- En resumen, para lograr la efectividad de la aplicación de los anclajes con barras roscadas y adheridos con resina epóxica en pasta, es necesario caracterizar los materiales a emplear y verificar el cumplimiento de los requerimientos exigidos. Es fundamental realizar el ensayo de adherencia en probetas o en la estructura a reforzar (ensayo planteado en este

Trabajo de Grado en la *Sección III.7*) para calcular el valor real sobre los pernos o anclajes.

V.2.RECOMENDACIONES

- Para este Trabajo de Grado, tanto el agregado grueso como el fino, obedecen con los requisitos de calidad estipulados en la Norma 277 “*Concreto. Agregados. Requisitos*”, a pesar de esto, se sabe que no siempre resulta de esta forma, en dichos casos se recomienda que se realicen las correcciones pertinentes en los diseños de mezclas y así poder compensar las deficiencias de los agregados.
- Es recomendable incluir rugosidad en la superficie taladrada para mejorar la adherencia.
- Se recomienda realizar un estudio de corte para anclajes colocados en concreto endurecido con resina epóxica.
- Se propone realizar un estudio combinado de corte y Tracción.
- Realizar el ensayo de tracción a las barras roscadas como método de comprobación de la resistencia de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- **Beer F. P., Johnston, E. Jr; E. R.,Johnston, Jr.; De Wolf J.** (2004). *Mecánica de materiales*. México, Mc. Graw Hill. Tercera edición.
- **Norma ACI 355.2-01.** (Mayo 2005). *Evaluación del comportamiento de los anclajes para instalar en hormigón endurecido*. [Datos en línea]. Disponible=http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_355_2_01.pdf [Consulta: 2008, Noviembre].
- **Hilti.** [Pagina web en línea]. Disponible=<http://www.hilti.cl/data/editorials/-8324/anclajes.pdf>. [Consulta: 2008, Noviembre].

APÉNDICE



PRA FIX PASTA

Sistema epoxy para reparaciones

DESCRIPCIÓN:

Es una masilla Epóxica de dos componentes, a base de resina 100% pura, libre de solventes, que se mezclan entre si, con proporciones 2 a 1. Para así formar una masilla tixotropica para rebajar en juntas sobre cabezas y de abajo hacia arriba.

USOS:

Una vez mezclado, el **PRA FIX PASTA** produce una mezcla capaz de adherir cualquier material sólido, alcanzando una resistencia especial a la flexión, compresión y tracción muy superior a la del concreto.

Esta masilla por sus extraordinarias características de adhesión, se utiliza para reparación de enconchamientos, cangrejas, para unir elementos de concretos, grietas, anclajes de tubos y pernos, reparación de escaleras, frisos, baldosas, bordes de juntas de dilatación, etc.

VENTAJAS:

- El **PRA FIX PASTA** es un material de fácil trabajabilidad en sitios horizontales y verticales.
- No escurre en las aplicaciones verticales y sobre cabezas.
- Se adquiere una alta resistencia a tempranas horas.
- Resiste ataques químicos, aceites, combustibles, grasas, etc.
- Es de fácil aplicación en calafateo de túneles, con presencia de humedad.
- Aplicable con pistola de calafateo o espátula.
- Tiene varios usos adhesivos y relleno.

DATOS TÉCNICOS:

Presentación:

Juegos de 1 galón y medio (1 ½)

Almacenaje:

Dieciocho (18) meses en envases originales.



Estado físico:	A y B pastoso.
Color:	Gris cemento.
Resistencia de compresión:	24 horas.... 580 kg/ cm ² 3 días.... 600 kg/ cm ² 7 días.... 750 kg/ cm ²
Tiempo de aplicación:	30 minutos.
Tiempo de taco:	60 minutos.
Curado inicial:	8 horas.
Curado final:	24 horas.
Resistencia a la flexión:	200 kg/ cm ²
Resistencia a la tracción:	130 k/ cm ²

DOSIFICACIÓN:

Se mezclan los dos productos en proporción 2 a 1 por volumen, con espátula o taladro de baja revolución, para evitar la aceleración del fraguado.

Una vez mezclado se aplica en el sitio con espátula o pistola de calafateo.

APLICACIÓN:

La superficie debe estar limpia, sana libre de impurezas como grasa, aceites, partículas sueltas, pinturas y sobre todo debe estar seca.

NOTA: no es toxico, pero puede causar irritaciones de la piel, por eso se recomienda usar guantes de seguridad.