

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONECTORES ADHERIDOS BASADOS EN BARRA DE ACERO ROSCADA CON RESINAS EPÓXICAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Martínez A., Gina C.

Moreno V., Idalmis C.

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONECTORES ADHERIDOS BASADOS EN BARRA DE ACERO ROSCADA CON RESINAS EPÓXICAS

TUTOR ACADÉMICO:

Prof. Ronald Torres

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Martínez A., Gina C.

Moreno V., Idalmis C.

Para optar al Título de

Ingeniero Civi

Caracas, 2009

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONECTORES ADHERIDOS BASADOS EN BARRA DE ACERO ROSCADA CON RESINAS EPÓXICAS”**, desarrollado por las bachilleres MARTÍNEZ A. GINA C. Y MORENO V. IDALIMIS C. 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 30 días del mes de Abril del año 2009.

Ing. Ronald Torres



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

PLANILLA DE EVALUACIÓN - TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TITULO TEG: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONECTORES ADHERIDOS BASADOS EN BARRA DE ACERO ROSCADA CON RESINAS EPOXICAS

Estudiante: MARTÍNEZ A. GINA C., MORENO V. IDALMIS C.

Fecha de presentación:

DOCUMENTO		Calificación	%	Nota
1	Definición del problema y marco teórico		20	
2	Metodología		10	
3	Recopilación y ordenamiento de la información		10	
4	Análisis de la información		20	
5	Conclusiones y recomendaciones		15	
6	Bibliografía		5	
7	Redacción		20	
Calificación documento				
Porcentaje				60
Total proveniente del documento				

EXPOSICIÓN		Calificación	%	Nota
a	Orden		25	
b	Claridad		10	
c	Capacidad de síntesis		20	
d	Presentación Audiovisual		25	
e	Respuesta a las preguntas		20	
Calificación exposición				
Porcentaje				40
Total proveniente de la exposición				

Calificación	
---------------------	--

ACTA

El día 11 de Mayo de 2009 se reunió el jurado formado por los profesores:

Ronald Torres
Jose Manuel Velasquez
Angelo Marinilli

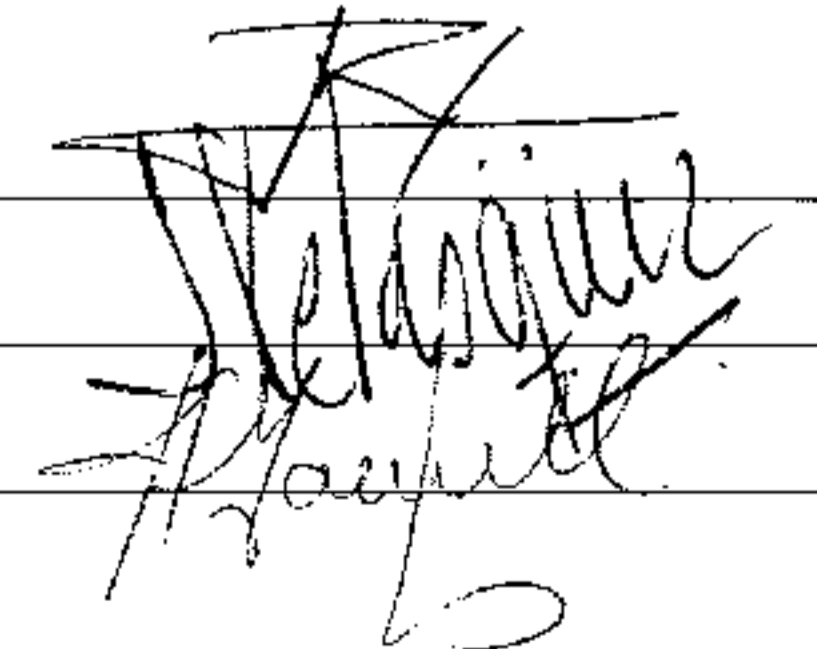
Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONECTORES ADHERIDOS BASADOS EN BARRA DE ACERO ROSCADA CON RESINAS EPÓXICAS**". Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

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. Martínez A., Gina C.	20	Veinte
Br. Moreno V. Idalmis C.	20	Veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 11 de Mayo de 2009

En este trabajo de investigación se evaluó el comportamiento del anclaje basado en barra roscada con resina epóxica, mediante ensayo de extracción (pull out), para determinar la carga máxima soportada así como el modo de falla.

A pesar de las variaciones incluidas en las condiciones del ensayo, tales como, resistencia del concreto, diámetro de apertura de los orificios para el anclaje y sustitución de la barra roscada por un perno, se observó el mismo tipo de falla por deslizamiento de las barras (falla por adherencia de la resina epóxica). Éste comportamiento se atribuye, a que la resina epóxica empleada no presenta las propiedades necesarias para garantizar su funcionamiento como adhesivo de las barras roscadas de acero, bajo las condiciones de ensayos trabajadas.

Al contrastar la carga máxima obtenida en el ensayo de extracción de anclajes, con la carga máxima calculada bajo lineamientos contemplados en el código ACI, se observó una discrepancia importante entre los valores, ya que el diseño contempla una carga máxima, para las fallas típicas, con los valores de materiales ensayados y la falla registrada corresponde a valores no previstos.

En general, para lograr la efectividad de la aplicación de los anclajes mecánicos basados en barra roscada y adheridos con resina epóxica, es necesario evaluar correctamente las propiedades de los materiales a emplear y verificar el cumplimiento de los requerimientos exigidos en el proyecto.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.2. OBJETIVOS	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
II.1 ANTECEDENTES	6
II.2. CONCRETO	7
II.2.1 Componentes del concreto	8
II.2.1.1 Agua	8
II.2.1.2 Agregados	8
II.2.1.3 Humedad	10
II.2.1.4 Cemento	11
II.2.2. Características del concreto.....	13
II.2.3.1 Ley de Abrams.....	13
II.2.3.2 Relación Entre la Calidad del Concreto, su Composición y su Resistencia Mecánica.....	15
II.2.4. Compactación	16
II.2.5. Curado	16
II.2.6. Evaluación del concreto	17

II.2.6.1 Condiciones del ensayo a compresión	17
III.2.6.2 Ondas ultrasónicas	18
II.3 CÓDIGO ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)	19
II.4 ANCLAJE	20
II.4.1. Sistemas De Anclaje	20
II.4.1.1 Sistemas Instalados En Concreto Endurecido	20
II.4.2.1 Anclajes De Expansión	21
II.4.2.2 Anclajes Cementados	21
II.4.2.2.1 Anclajes cementados con mortero:.....	21
II.4.2.2.2 Anclajes químicos:.....	22
II.5 ENSAYOS DE REFERENCIA	24
II.5.1. Ensayos bajo condiciones de servicio.....	24
II.5.2. Ensayo de tracción bajo condiciones de servicio para un anclaje individual próximo a dos bordes (anclaje en esquina):.....	24
II.5.2.1. Ensayo bajo condiciones de servicio para mínima distancia al borde y mínima separación.....	25
II.5.2.2. Ensayo de corte bajo condiciones de servicio para anclajes individuales no afectados por los efectos de borde y separación	25
II.5.2.3. Ensayos de tracción sísmica simulada bajo condiciones de servicio	25
II.5.2.4. Ensayos de corte sísmico simulado bajo condiciones de servicio .	26
II.6 RESINA EPÓXICA	27
II.6.2 Aplicaciones de las resinas epóxicas en la industria de la Construcción	28
II.7. COMPORTAMIENTO DE LOS ANCLAJES EN CONCRETO SOLICITADOS A TRACCIÓN	29
II.7.1. Tipos de falla.....	29
II.7.1.1. Falla del acero	29
II.7.1.2 Falla de un cono de concreto.....	31

II.7.1.3. Falla por deslizamiento de la barra (por la resina)	31
---	----

CAPITULO III: MÉTODO 33

III.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES	33
III. 2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	34
III.2.1 Granulometría De Los Agregados.....	34
Agregado Grueso:	35
Agregado Fino:	36
III.2.2 Humedad.....	37
III.2.3 Peso Específico Y Porcentaje De Absorción.....	38
Peso Específico (γ_G) y Porcentaje de Absorción (G) del Agregado Grueso:	38
Densidad Nominal:	38
Densidad Aparente:	38
Absorción de Grueso (G):.....	39
Porcentaje de Absorción del Agregado Fino:	39
III.3 DISEÑO DE MEZCLAS	40
III.3.1 Resistencia (F'_{Cr})	40
III.3.2 Ley De Abrams.....	41
III.3.3 Relación Agua-Cemento	41
III.3.4 Relación Triangular	42
III.3.5 Proporción Entre Agregados Finos Y Gruesos	43
III.3.7 Volumen Absoluto	44
III.3.8 Volumen Absoluto De Los Agregados.....	44
III.3.9 Corrección Por Humedad.....	45
III.3.10 Agua De La Mezcla	46
III.3.11 Dosificación	46

III.4 ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	47
II.4.1 Medición Del Asentamiento Con El Cono De Abrams:.....	49
III.4.2 Elaboración De Probetas Cilíndricas.....	51
III.4.3 Ensayo De Ultrasonido.....	52
III.4.4 Método Del Ensayo A Compresión:	53
III.5 MÉTODO DEL ENSAYO A TRACCIÓN DE LA BARRA ROSCADA	54
III.6 ENSAYO DE ADHERENCIA DE LA RESINA EPÓXICA	55
III.7 ENSAYO DE EXTRACCIÓN DEL ANCLAJE DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPÓXICA (Pull out)	56
III.8 AJUSTE DE DISEÑO DE LOS ANCLAJES MECÁNICOS DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPOXICA	59
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	61
IV.1 RESULTADOS	61
IV.1.1. Granulometría	61
Agregado grueso.	61
Agregado fino.	62
IV.1.2. Humedad, Peso Específico Y Porcentaje De Absorción De Los Agregados.....	64
IV.1.3. Diseño De Mezcla Y Dosificación	65
IV.1.4. Ensayos	71
IV.1.4.1. Velocidad De Pulso Ultrasónico De Los Cilindros.	71
IV.1.4.2. Ensayos De Compresión Simple De Probetas De Concreto.....	77
IV.1.4.3. Tracción De Las Barras Roscadas	90
IV.1.4.4. Adherencia De La Resina Epoxica	100
IV.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	
IV.2.1. Granulometría	125

IV.2.1.1. Agregado grueso.....	125
IV.2.1.2. Agregado fino.....	125
IV.2.2. Ensayos.....	126
IV.2.2.. Velocidad De Pulso Ultrasónico.....	126
IV.2.2.2. Compresión De Probetas De Concreto.....	126
IV.2.2.3. Tracción De Las Barras Roscadas.....	128
IV.2.2.4. Adherencia De La Resina Epóxica.....	128
IV.2.3. Ajuste De Diseño De Los Anclajes Mecánicos De Barra Roscada Con Resina Epoxica.....	130
CAPITULO V: CONCLUSIONES y recomendaciones.....	131
V.I CONCLUSIONES.....	131
V.2 RECOMENDACIONES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	135
APÉNDICES.....	137
APÉNCIDE 1. Especificaciones De La Prensa Universal.....	137
APÉNCIDE 2. Especificaciones De La Prensa Universal.....	137
APÉNCIDE 3. Especificaciones De La Bomba Hidráulica Y Manómetro.....	137
APÉNCIDE 4. Norma ACI 318.....	137

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
Tabla N. II.1 Límites de la norma venezolana COVENIN 277 para la arena	9
Tabla N. II.2 Límites de la norma venezolana COVENIN 277 para la Piedra Picada.....	10
Tabla N°II.3. Valores de M y N Para R	14
CAPITULO III: MÉTODO	33
Tabla III.1.- Kr Factor para Corregir α por Tamaño Máximo, mm (pulgada)	42
Tabla III.2.- KA Factor para Corregir α por Tipo de Agregado	42
Tabla III.3.- C1 Factor para Corregir C por Tamaño Máximo, mm (pulgada).....	43
Tabla III.4.- C2 Factor para Corregir C por Tipo de Agregado.....	43
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	61
Tabla N°IV.1.- Granulometría del Agregado grueso	61
Tabla N°IV.2.- Granulometría del Agregado fino.....	63
Tabla N°IV.3.- Resultados de Ensayos de Absorción y Peso Específico	64
Tabla N° IV.4.-Resultados de Ensayos de Absorción y Peso Específico del Agregado Fino	65
Tabla N°IV.5.-Datos de la Mezcla de Resistencia 18 0 Kg/cm ²	66
Tabla N°IV.6. Factores de Corrección de la Mezcla de Resistencia.....	66
180 Kg/cm ²	66
Tabla N°IV.7. Dosificación 180 Kg/cm ²	67
Tabla N°IV.8.-Datos de la Mezcla de Resistencia 25 0 Kg/cm ²	67

Tabla N° IV.9. Factores de Corrección de la Mezcla de Resistencia 250 Kg/cm ²	68
Tabla N° IV.10. Dosificación 250 Kg/cm ²	68
Tabla N° IV.11.- Datos de la Mezcla de Resistencia 310 Kg/cm ²	69
Tabla N° IV.12. Factores de Corrección de la Mezcla de Resistencia 310 Kg/cm ²	69
Tabla N° IV.13. Dosificación 310 Kg/cm ²	70
Tabla N° IV.14.- Resumen de Dosificación	70
Tabla N° IV.15.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 180 Kg/cm ² curadas en agua	71
Tabla N° IV.16.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 180 Kg/cm ² curadas en agua	71
Tabla N° IV.17.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 180 Kg/cm ² expuestas al aire	72
Tabla N° IV.18.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 180 Kg/cm ² expuestas al aire	72
Tabla N° IV.19.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 250 Kg/cm ² curadas en agua	73
Tabla N° IV.20.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 250 Kg/cm ² curadas en agua	73
Tabla N° IV.21.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 250 Kg/cm ² expuestas al aire	74
Tabla N° IV.22.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 250 Kg/cm ² expuestas al aire	74
Tabla N° IV.23.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 310 Kg/cm ² curadas en agua	75
Tabla N° IV.24.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 310 Kg/cm ² curadas en agua	75

Tabla N° IV.25.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de Kg/cm ² expuestas al aire	310 76
Tabla N° IV.26.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 310 Kg/cm ² expuestas al aire	76
Tabla N° IV.27.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 180 Kg/cm ² curadas en agua	78
Tabla N° IV.28.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de180 Kg/cm ² expuestas al aire.....	80
Tabla N° IV.29.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 250 Kg/cm ² curadas en agua	82
Tabla N° IV.30.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de250 Kg/cm ² expuestas al aire	84
Tabla N° IV.31.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 310 Kg/cm ² curadas en agua.....	86
Tabla N° IV.32.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de310 Kg/cm ² expuestas al aire.....	88
Tabla N°IV.33.- Ensayo a tracción de barra $\frac{3}{4}$ "	90
Muestra 1	90
Tabla N°IV.34.- Ensayo a tracción de barra $\frac{3}{4}$ "	92
Muestra 2.....	92
Tabla N°IV.35.- Ensayo a tracción de barra $\frac{3}{4}$ "	94
Muestra 3.....	94
Tabla N°IV.36.- Ensayo a tracción de barra $\frac{3}{4}$ "	96
Muestra 4.....	96
Tabla N°IV.37.- Ensayo a tracción de barra $\frac{3}{4}$ "	98
Muestra 5.....	98
Tabla N° IV.38.- Resistencia de adherencia de la re sina epóxica y su modo de falla para concreto de 180 kgf/cm ²	100

Tabla N° IV.39.- Resistencia de adherencia de la resina epóxica y su modo de falla para concreto de 250 kgf/cm ²	102
Tabla N° IV.40.- Resistencia de adherencia de la resina epóxica y su modo de falla para concreto de 310 kgf/cm ²	103
Tabla IV.41. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	105
Tabla IV.42. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	107
Tabla IV.43. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	108
Tabla IV.44. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	109
Tabla IV.45. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	110
Tabla IV.46. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	111
Tabla IV.47. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	112
Tabla IV.48. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	113
Tabla IV.49. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	114
Tabla IV.50. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	117
Tabla IV.51. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	118
Tabla IV.52. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	119

Tabla IV.53. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 180 Kg/m ² y 1" de Diámetro de Apertura de Orificio	120
Tabla IV.55. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 180 Kg/m ² y 1 y 1/8" de Diámetro de Apertura de Orificio	120
Tabla IV.54. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 180 Kg/m ² y 1 y 1/4" de Diámetro de Apertura de Orificio	121
Tabla IV.54. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 250 Kg/m ² y 1" de Diámetro de Apertura de Orificio	121
Tabla IV.55. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 250 Kg/m ² y 1 y 1/8" de Diámetro de Apertura de Orificio	121
Tabla IV.56. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 250 Kg/m ² y 1 y 1/4" de Diámetro de Apertura de Orificio	122
Tabla IV.57. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 310 Kg/m ² y 1" de Diámetro de Apertura de Orificio	122
Tabla IV.58. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 310 Kg/m ² y 1 y 1/8" de Diámetro de Apertura de Orificio	122
Tabla IV.59. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 310 Kg/m ² y 1 y 1/4" de Diámetro de Apertura de Orificio	123
Tabla IV.60. Longitud efectiva del anclaje, manteniendo las Propiedades de los Materiales	123
Tabla IV.61. Cantidad de Anclajes requerida, manteniendo constante la longitud efectiva y las propiedades del material	124
Tabla IV.62. Comportamiento de la adherencia de la resina para cumplir con los requisitos iniciales de carga máxima y de longitud embebida.	124

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 6

Gráfica N°II.1.- Leyes Básicas del Concreto:	15
Grafico II.1. Típicas relaciones carga-desplazamiento para anclajes químicos bajo carga de tracción y corte.....	32

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS..... 61

Gráfica N°IV.1.- Curva Granulométrica del Agregado grueso.....	62
Gráfica N°IV.2.- Curva Granulométrica del Agregado fino.....	63
Gráfica N°IV.3.- Resistencia Real de Probetas de 180 Kg/cm ² curadas en agua	79
Gráfica N°IV.4.- Resistencia Real de Probetas de 180 Kg/cm ² expuestas al aire	81
Gráfica N°IV.5.- Resistencia Real de Probetas de 250 Kg/cm ² curadas en agua	83
Gráfica N°IV.6.- Resistencia Real de Probetas de 250 Kg/cm ² expuestas al aire	85
Gráfica N°IV.7.- Resistencia Real de Probetas de 310 Kg/cm ² curadas en agua	87
Gráfica N°IV.8.- Resistencia Real de Probetas de 310 Kg/cm ² expuestas al aire	89
Gráfica N°IV.9.- Esfuerzo Vs. Deformación unitariaMuestra 1	91
Gráfica N°IV.10.- Esfuerzo Vs. Deformación unitariaMuestra 2.....	93
Gráfica N°IV.11.- Esfuerzo Vs. Deformación unitariaMuestra 3.....	95
Gráfica N°IV.12.- Esfuerzo Vs. Deformación unitariaMuestra 4.....	97
Gráfica N°IV.13.- Esfuerzo Vs. Deformación unitariaMuestra 5.....	99

Gráfica N°IV.13.- Adherencia de la resina epoxica con concreto de 180kgf/cm ²	101
Gráfica N°IV.14.- Adherencia de la resina epoxica con concreto de 250kgf/cm ²	102
Gráfica N°IV.15.- Adherencia de la resina epoxica con concreto de 310kgf/cm ²	103
Gráfica N°IV.16.- Adherencia de la resina epoxica en función de la resistencia del concreto	104
Gráfica IV.17- Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	106
Gráfica IV.18.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	107
Gráfica IV.19.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	108
Gráfica IV.20.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	109
Gráfica IV.21.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	110
Gráfica IV.22.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	111
Gráfica IV.23.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	112
Gráfica IV.24.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	113
Gráfica IV.25.Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	114
Gráfica IV.26.Adherencia en función de la apertura del orificio en concreto de 180 Kg/cm ²	115

Gráfica IV.27.Adherencia en función de la apertura del orificio en concreto de 250 Kg/cm ²	115
Gráfica IV.28.Adherencia en función de la apertura del orificio en concreto de 310 Kg/cm ²	116
Gráfica IV.29.Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm ²	117
Gráfica IV.30.Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm ²	118
Gráfica IV.31.Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm ²	119
Gráfica N°IV.17.- Curva de resistencia de las probetas curadas	127
Gráfica N°IV.18.- Adherencia del Anclaje en Función del Diámetro de Apertura del Orificio	129

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
Imagen II.1. Anclajes cementados con mortero.....	21
Imagen II.2. Anclaje químico con barra roscada.....	23
Imagen II.3. Anclaje químico con barra conformada.....	23
Imagen II.4. Falla del acero.	30
Imagen II.5. Falla de un cono de concreto.....	31
Imagen II.6. Falla por deslizamiento de la barra	32
CAPITULO III: MÉTODO	33
Imagen III.1.- Planta de Premezclado Rapid Concreto.....	34
Imagen III.2.- Agregados gruesos y finos en planta.....	35
Imagen III.3. Selección del agregado grueso.....	36
Imagen III.4.- Muestra de agregado fino	37
Imagen III.5 y III.6.- Procedimiento Peso Específico y % de Absorción.....	40
Imagen III.7.- Vaciado.....	48
Imagen III.8.y III.9- Probetas a emplear.....	49
Imagen III.10 y III.11.- Medición del asentamiento	50
Imagen III.12 y III.13.- Elaboración de probetas	51
Imagen III.14 y III.15.- Curado de probetas	52
Imagen N°III.16.- Ensayo de Ultrasonido.....	53
Imagen III.17 y III.18.- Ensayo a compresión.....	54
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	61
Imagen N°VI.1.- Modo de falla observado	104

INTRODUCCIÓN

La construcción en Venezuela se ha caracterizado por el empleo del concreto armado como material fundamental para la elaboración de estructuras, ya que éste posee moldeabilidad, proporciona continuidad de los elementos estructurales, una excelente resistencia a la compresión y es relativamente económico.

Otra ventaja importante que ofrece el concreto armado, es que suele ser más duradero en el tiempo que otros materiales. Sin embargo existe la necesidad de que las estructuras cumplan con las normas de construcción venezolanas vigentes para poder garantizar su habitabilidad.

Para ofrecer tal garantía, en muchas ocasiones es prioridad reparar y adecuar las estructuras. Para realizar esta intervención es útil el empleo de conectores o anclajes basados en barras de acero roscada adheridos con resinas epóxicas.

En general, con este tipo de anclaje se busca dar continuidad a una estructura con algún tipo de perno para poder adherir otra prefabricada. Normalmente se perfora una estructura para colocar un perno de anclaje que se fija con un adhesivo epóxico, para lograr una transferencia de tensiones que posibiliten el buen funcionamiento de la misma.

Debido a la numerosa aplicación y la práctica común del anclaje con barra roscada adherido con resina epóxica en nuestro país, es de suma importancia conocer su comportamiento mecánico cuando se utiliza con materiales locales. En el siguiente Trabajo Especial de Grado se realizó una evaluación del sistema anclado sobre viguetas de concreto sin aditivos.

Para la validación de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, se realizaron ensayos de compresión y de registro de la velocidad de pulso ultrasónico para obtener la resistencia y verificar la homogeneidad del concreto, para resistencias nominales de 180, 250 y 310 kg/cm². Se traccionaron 5 barras roscadas de acero para identificar su resistencia a la tracción y se realizó el ensayo propuesto por la Embajada China para verificar la adherencia de la resina epóxica.

Finalmente se realizó el método de colocación de los anclajes de barra roscada con resina epóxica, sobre 10 viguetas por resistencia. Estos anclajes fueron sometidos a ensayos de extracción y verificación de adherencia, variando el diámetro de apertura de los orificios de alojamiento de los anclajes.

Se realizó un contraste entre los valores derivados de la experiencia en el laboratorio y los resultados de cálculos de diseño según lineamientos del Código ACI, que permitieron proponer alternativas para ajustar la aplicación de barras roscadas con resina epóxica a materiales locales.

CAPITULO I: FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los anclajes mecánicos basados en barra de acero roscada y adheridos con resina epóxica son usados frecuentemente para intervención de obras y generalmente lo utilizan por su fácil disponibilidad, sencilla instalación y su bajo costo, obviando comúnmente otros aspectos de mayor importancia.

Éste Trabajo Especial de Grado, surge por la situación de las viviendas de interés social promovida por la Embajada China en Venezuela. En esta obra se utilizaron perfiles tubulares, pernos, resinas y anclajes de barra roscada importados de China. En el ensamblaje de las columnas se observó falla en los anclajes de las planchas base, sólo por carga estática y eventuales sobrecargas atribuidas a la construcción. La forma de falla de los anclajes, en apariencia, se produjeron por deslizamiento de las barras y los pernos del anclaje utilizado.

Con base en esta problemática se plantea realizar una Tesis para la evaluación de las condiciones de los anclajes en obra, aprovechando de introducir modificaciones en la resistencia del concreto y en la abertura de los orificios de alojamiento de los anclajes.

Generalmente, para aplicaciones en obra, los contratistas deciden el anclaje que van a emplear. A menudo la decisión es simple, con base en factores tales como el tipo de anclaje más fácil y rápido de instalar, el más económico y cuál tiene en existencia el proveedor local. Con frecuencia, los factores tomados en cuenta para la selección y ubicación de anclajes, excluyen otros aspectos de suma importancia como las especificaciones del proyecto, los datos proporcionados por el fabricante de los dispositivos y los requisitos existentes en algunos códigos. También se

resta importancia al material en el cual se fija el anclaje, consideraciones dimensionales, y al comportamiento del anclaje a través del tiempo.

Esta situación promueve la existencia de ciertas interrogantes: ¿por qué los constructores seleccionan los anclajes mecánicos sin tomar en cuenta los factores antes mencionados?, ¿cuáles problemas puede ocasionar esta selección arbitraria y dirigida por la práctica común?, ¿por qué se emplean generalmente los anclajes mecánicos no normados?, ¿por qué se cambian las disposiciones originales de los proyectos?

En este Trabajo Especial de Grado, se desea estudiar y comprender el comportamiento del anclaje mecánico de barra roscada con resina epóxica, con la finalidad de ajustar la aplicación de éste en la intervención de obras con materiales locales.

Cabe destacar que los códigos estructurales no han prestado la atención necesaria a los anclajes mecánicos. Además, en Venezuela no existe una norma para anclajes adaptada a nuestros elementos, lo cual nos lleva a cometer otro error cuando nos regimos por normas y códigos foráneos, mientras empleamos materiales de construcción locales regidos por la Norma venezolana COVENIN 1753. Por lo tanto, surge otra interrogante, ¿En qué varía la aplicación del código ACI si se modifica la resistencia del concreto a utilizar? ¿En qué varía la aplicación del código mencionado si los elementos constructivos son venezolanos?

De los resultados obtenidos se generará una base de conocimiento fundada en los valores de resistencia, provenientes de la experiencia en el laboratorio, para el concreto utilizado en el país. Además, se cotejarán los nuevos valores obtenidos con los empleados hasta el momento.

I.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de conectores adheridos (anclaje mecánico) de barra roscada con resina epóxica mediante ensayos bajo condiciones de servicio, para una adecuada aplicación en la intervención de obras, cuyos materiales cumplan con la Norma COVENIN 1753.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las características de los materiales locales a emplear: concreto y el anclaje de barra roscada con resina epóxica.
2. Calcular las resistencias de los anclajes en estudio, mediante ensayo de extracción (pull out).
3. Contrastar los resultados obtenidos en los ensayos realizados y lo contemplado en el código ACI-318.
4. Ajustar la aplicación de los anclajes mecánicos de barra roscada con resina epóxica, a los materiales locales.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

La estructura a seguir en el siguiente capítulo es, en primer lugar, describir de manera concisa los antecedentes que evalúan y describen el comportamiento de conectores adheridos (anclaje mecánico) de barra roscada con resina epóxica, utilizados como tipo de refuerzos en estructuras de concreto armado, luego definir el concreto y sus principales componentes y propiedades, y finalmente describir la aplicación de los anclajes mecánicos de barra roscada con resina epóxica según lo contemplado en el código ACI-355.

II.1 ANTECEDENTES

El concreto armado en Venezuela, se ha empleado como material fundamental para la construcción de estructuras, ya que suele ser más duradero en el tiempo en comparación con otros materiales. Para garantizar esta durabilidad y calidad, en muchas ocasiones es prioridad reparar y adecuar las estructuras antiguas o dañadas. Los anclajes constituyen en los actuales momentos un medio esencial para garantizar la estabilidad de estructuras muy diversas.

Existen numerosos tipos de anclajes, cada uno de ellos con sus características y pautas para su instalación, adecuados para distintas aplicaciones y función.

Actualmente se ha observado el empleo de conectores o anclajes basados en barras de acero roscada adheridos con resinas epóxicas, para intervención de obras, por su fácil disponibilidad, sencilla instalación y su bajo costo, para lograr una transferencia de tensiones que posibiliten la recuperación estructural.

Las resinas se emplean cada vez más habitualmente en la rehabilitación de edificios. “Las más empleadas son las resinas epóxicas o epoxi, que tienen una

excelente adherencia tanto al concreto como al acero, muy baja retracción de curado, despreciable sensibilidad al agua y muy buenas características mecánicas durables a lo largo del tiempo.”¹ Estas propiedades las hacen muy útiles en reparaciones y refuerzos. Su uso va dirigido tanto a reforzar mecánicamente una estructura como a paliar acciones físicas o químicas estructurales.

Para tener conocimiento de dichas pautas para cada uno de los diferentes tipos de anclajes, el Comité 355 del ACI, Anclajes al Concreto, desarrolló recientemente un documento titulado "Método de Prueba Provisional para Evaluar el Comportamiento de los Anclajes Mecánicos Post-Instalados en el Concreto", la aceptación de este documento en el ACI, establecerá guías generales uniformes, simplificando el proceso de selección de anclajes.

Con este Trabajo Especial de Grado se pretende estudiar y comprender el comportamiento del anclaje mecánico de barra roscada con resina epóxica, con la finalidad de ajustar la aplicación de éste en la intervención de obras con materiales locales, y adaptar la norma para anclajes existente a nuestros elementos.

II.2. CONCRETO

El concreto es el producto resultante de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento, arena, grava o piedra picada y agua) que al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a la de las mejores piedras naturales.

¹ Resina epoxica, Enciclopedia WIKIPEDIA.org.com

II.2.1 COMPONENTES DEL CONCRETO

II.2.1.1 Agua

El agua de mezclado se puede definir 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.

El agua, considerada como materia prima para la confección y el curado del concreto debe cumplir con determinadas normas de calidad. Esta 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

Los agregados (gruesos y finos) constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanza a representar entre el 70% y el 85% de su peso, es por esta razón que la composición del material y las propiedades del mismo resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla, para poder asegurar una buena calidad del concreto. En Venezuela los agregados deben cumplir los requisitos de la Norma COVENIN 277 "Agregados para Concreto. Especificaciones". En lo referente a las características del tipo físico y químico. Existen además una serie de ensayos aplicables a los agregados. Los de uso más comunes o rutinarios se encuentran: "Granulometría, Módulo de Finura y Tamaño Máximo" (COVENIN 255), "Peso Específico y Absorción" (COVENIN 268 y 269), "Contenido de Cloruros y Sulfatos" (COVENIN 261), "Cantidad de Materia Orgánica" (COVENIN 256), "Resistencia al Desgaste" (COVENIN 266).

Los agregados en el concreto, están conformados por una fracción de finos, representada por las arenas y una fracción de gruesos que son las piedras. Las cantidades a dosificar están definidas por el tipo de concreto que se quiere elaborar.

Las características de los agregados que afectan las propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido, son entre otras: el tamaño y forma de la partícula, que influyen sobre la trabajabilidad y resistencia de los concretos; el grado de limpieza en términos de contenido de finos (arcilla o limos), que influyen sobre la demanda del agua de amasado de la mezcla, afectando la durabilidad y resistencia del concreto.

Para nuestro Trabajo Especial de Grado, se trabajó con los límites indicados en la Norma COVENIN 277 “Agregados para Concreto. Especificaciones”, tanto para la piedra picada como para la arena fina.

Tabla N. II.1 Límites de la norma venezolana COVENIN 277 para la arena

Tamiz	Abert. Tamiz (mm)	superior (%)	Inferior (%)
3/4"	19,1		
1/2"	12,7	100	100
3/8"	9,50	100	100
1/4"	6,350	100	100
#4	4,760	100	85
#8	2,380	95	60
#16	1,190	80	40
#30	0,595	60	20
#50	0,298	30	8
#100	0,149	10	2
#200	0,074	5	0

Tabla N. II.2 Límites de la norma venezolana COVENIN 277 para la Piedra Picada

Tamiz	Abert. Tamiz (mm)	superior (%)	inferior (%)
1"	25,4	100	90
3/4"	19,1	90	50
1/2"	12,7	45	15
3/8"	9,50	20	0
1/4"	6,350	7	0
Nº 4	4,760	0	0
Nº 200	0,074	0	0

II.2.1.3 Humedad

En los agregados existen poros, los cuales encuentran en la intemperie y pueden estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él podríamos saber si nos aporta agua a la mezcla para su diseño.

“Esta humedad se encuentra en los agregados de dos maneras diferentes: una es relleno de los poros y micro poros internos de los granos, y la otra es como una película o capa envolvente más o menos gruesa”²

² Manual del Concreto Estructural, Joaquín Porrero.

II.2.1.4 Cemento

En Venezuela, para la fabricación de concreto se utiliza en su mayoría cemento Portland Tipo I, que debe cumplir con las especificaciones de calidad previstas en la Norma del Comité Venezolano de Normas Industriales (COVENIN 28) "Cemento. Portland Especificaciones".

Hoy en día el cemento es la cola o "conglomerante" más barato que se conoce, mezclado adecuadamente con los áridos y el agua forma el concreto.

El cemento está constituido principalmente por componentes mineralógicos como los 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. A continuación se presenta una descripción de los componentes principales del cemento:

- **Silicato Tricálcico o Alita (C3S):** este componente se puede considerar como el principal del cemento, contribuye 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 120 calorías/gramo.
- **Silicato Bicálcico o Belita (C2S):** este componente presenta poca resistencia en los primeros días, pero luego va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al C3S. Desarrolla calor de hidratación de 60 calorías/gramos.

- **Aluminato Tricálcico (C3A):** este componente 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.
- **Ferrito Aluminato Tetracálcico (C4AF):** prácticamente no contribuye a 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 clinker³ de cemento y es responsable del color gris verdoso que poseen los cementos portland.

En cuanto a los componentes secundarios, estos se encuentran en muy baja proporción en el cemento y sus efectos generalmente son más bien negativos, cuando las cantidades presentes superan las normas establecidas. Pueden generar expansión con riesgos de rotura de los elementos de concreto, así como también causar eflorescencias, aumentar la retracción y el fraguado de morteros y concretos como el caso de los álcalis.

El grado de finura con la que se logre moler el cemento es importante para sus prestaciones al concreto, en la medida en que un cemento más fino genera mayor superficie de contacto y por ende reacciona rápidamente, aumentando las resistencias tempranas.

³ Clinker es un material intermedio producido al manufacturar cemento, que no tiene otro uso más que el de ser pulverizado para producir cemento terminado.

II.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Desde un punto de vista general, son dos las características o propiedades principales del concreto de mayor consideración, la primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco y la segunda propiedad es el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto.

La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se determina por medio de ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre probetas normalizadas. No es práctico llevar a cabo ensayos de control que analicen todos esos estados tensionales, por lo que se ha establecido la costumbre de realizar el ensayo destructivo a compresión simple, sobre probetas normalizadas e inferir, a partir de sus resultados, los valores de otras características mecánicas tales como resistencia a la tracción o al corte.

II.2.3.1 Ley de Abrams

La principal ley que relaciona las resistencias del concreto y la composición de su mezcla es la conocida Ley de Abrams. Las correspondientes 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.

Según la Ley de Abrams, la resistencia del concreto depende fundamentalmente de la proporción entre el agua de mezclado y el cemento presente, 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 relación algebraica, suficientemente exacta a los efectos prácticos, que liga el valor de la resistencia con el valor α , en la siguiente forma:

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

es la 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, principalmente de la edad del concreto, del tipo y calidad del cemento, de las características de los agregados y de 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 N°II.3. Valores de M y N Para

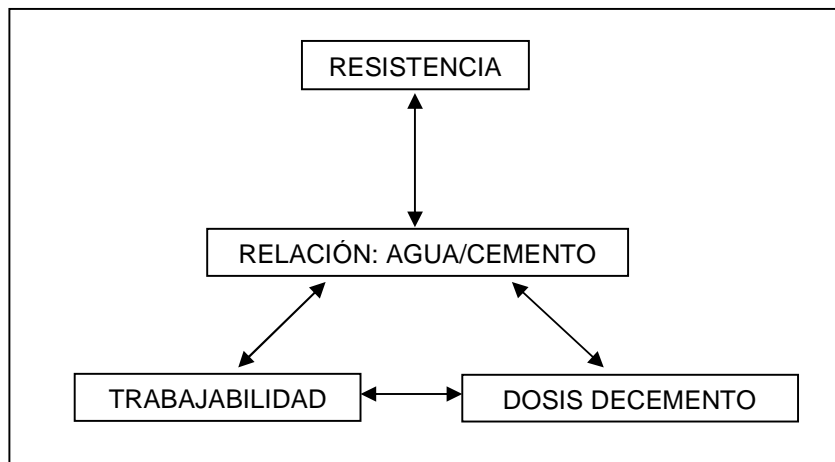
M Para R Expresado		N Para R Expresado	
Mpa	Kg/cm2	MPa	Kg/cm2
84,5	861,3	1,28	13,1
88,5	902,5	0,85	8,69
95,4	973,1	0,76	7,71

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

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

II.2.3.2 Relación Entre la Calidad del Concreto, su Composición y su Resistencia Mecánica

Las propiedades del concreto dependen primordialmente, de las características y proporciones de sus componentes. 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 N°II.1.- Leyes Básicas del Concreto:

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

II.2.4. COMPACTACIÓN

“La compactación es la operación manual o mecánica, por medio de la cual se trata de densificar la masa de concreto fresco, reduciendo a un mínimo los vacíos”⁴ Los vacíos pueden ser debido a aire atrapado o por cavidades producidas por la evaporación de parte del agua de amasado.

“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.”⁵

II.2.5. CURADO

“Procedimiento que asegura la temperatura y humedad necesarias para que se cumplan las reacciones de hidratación del cemento propias de los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto”⁶.

Después de la colocación y compactación del concreto se debe realizar el curado, 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 éste procedimiento, se logra mejorar las resistencias

⁴ Manual del Concreto Estructural, Joaquín Porrero

⁵ Norma COVENIN 338: 1994 “Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto”

⁶ Manual del Concreto Estructural, Joaquín Porrero

mecánicas, se gana impermeabilidad, aumento de la resistencia al desgaste y la abrasión y se logra mayor durabilidad.

El agua contenida en la masa de concreto se puede preservar bien por la reposición de la misma o por la cobertura externa. La Norma venezolana COVENIN 1753-85 “Estructuras de Concreto Armado Análisis y Diseño” estipula el curado durante por lo menos los primeros siete días siguientes al vaciado.

II.2.6. EVALUACIÓN DEL CONCRETO

II.2.6.1 CONDICIONES DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Al realizar los ensayos a compresión, para determinar la resistencia del concreto sobre un conjunto de probetas normalizadas, se debe cumplir meticulosamente, todos los procedimientos descritos en la Norma COVENIN 338 “Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concretos”.

Para que el valor en el ensayo pueda ser tomado como referencia base, se deben cumplir los siguientes procedimientos:

- **Velocidad de Carga:** dependiendo del tipo de prensa a utilizar, lo más importante de verificar son las velocidades de aplicación de la carga. Velocidades mayores a las normalizadas producen resultados de resistencias mayores y el caso contrario, menores velocidades de aplicación de carga menores son las resistencias obtenidas.
- **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”, la línea de aplicación de carga no coincide con la dirección del eje. El resultado del ensayo, en esas condiciones, es mucho menor del normalizado, dependiendo su disminución del valor del ángulo entre ambas líneas, con desviaciones de escasísimos grados se reduce del 30% y 50%.

- **Colocación de Remates de Azufre:** las caras planas del cilindro deben ser absolutamente lisas y paralelas cuyas tolerancias están establecidas en la Norma. Esto se logra colocando capas de cierto espesor, moldeadas, 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, con una planitud irregular, hace que los resultados obtenidos sean menores a los normalizados, llegando a perder hasta un 30% para irregularidades no muy pronunciadas.
- **Tamaño de Probetas:** las probetas utilizadas son las de tamaño natural 15x30 cm, que son las normalizadas.

III.2.6.2 ONDAS ULTRASÓNICAS

Con este método se quiere 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 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 untar 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.

Para asegurar la confiabilidad del ensayo de ultrasonido, este debe realizarse según la COVENIN 1976:2003. (3era Revisión). "Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayos".

Al realizar la medida con el ultrasonido se deberán cuidar 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.
- Se relacionará la Velocidad del Pulso Ultrasónico con la Resistencia a compresión directamente con la gráfica experimental de Velocidad contra Resistencia a Compresión.

II.3 CÓDIGO ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)

Los requisitos del código ACI 355.2 se ocupa exclusivamente de programas de ensayo y requisitos necesarios para la evaluación de anclajes mecánicos, los cuales son instalados en concreto armado.

Estos anclajes se han de utilizar en concreto armado, según los requisitos de diseño de ACI 318, el cual utiliza las categorías de comportamientos de los

anclajes para determinar los factores de reducción de la capacidad y otros parámetros de diseño.

II.4 ANCLAJE

Los anclajes son sistemas diseñados para sujetar, asir o asegurarse un conjunto de Equipos de Protección Individual (EPI) a una línea de vida.

Al realizar un anclaje se debe seleccionar un lugar firme, resistentes ante cualquier eventualidad y este debe en principio superar el peso máximo que se ha estimado.

II.4.1. SISTEMAS DE ANCLAJE

De acuerdo con la práctica actual, los sistemas de anclaje se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Sistemas de anclajes que se instalan antes de realizar el vaciado de concreto.
- Sistemas instalados en concreto endurecido

II.4.1.1 SISTEMAS INSTALADOS EN CONCRETO ENDURECIDO

Estos anclajes se instalan en una perforación que se realiza cuando el concreto ya está curado. Existen dos grupos básicos de sistemas instalados en concreto endurecido: anclajes cementados y anclajes de expansión.

II.4.2.1 ANCLAJES DE EXPANSIÓN

“Los anclajes de expansión están diseñados de manera tal que se insertan en orificios pre-perforados y luego se expanden ya sea ajustando una tuerca (anclajes de expansión de torque controlado), martillando el anclaje (anclajes de expansión de deformación controlada) o bien expandiéndolos en el interior de una muesca o rebaje en el hormigón (anclajes rebajados). Estos anclajes transfieren la carga de tracción del bulón al hormigón por presiones o fuerzas de expansión mediante fricción y/o acción de palanca contra la pared de la perforación. Frecuentemente estos anclajes vienen con bulón, tuerca y arandela.

II.4.2.2 ANCLAJES CEMENTADOS

II.4.2.2.1 Anclajes cementados con mortero:

Los anclajes cementados con mortero consisten en bulones con o sin cabeza o barras roscadas. Estos anclajes se instalan en orificios pre-perforados utilizando mortero de cemento pórtland y arena o algún otro mortero premezclado disponible comercialmente.

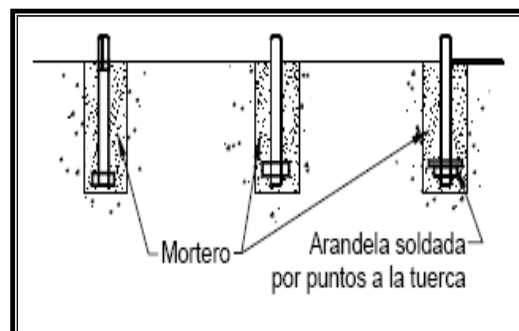


Imagen II.1. Anclajes cementados con mortero

Fuente: ACI 355

II.4.2.2 Anclajes químicos:

Los anclajes químicos generalmente consisten en barras roscadas o barras conformadas que se cementan utilizando compuestos químicos de dos componentes formados por poliésteres, vinilésteres o epoxis. Los productos químicos se pueden clasificar en cuatro presentaciones diferentes: en cápsulas de vidrio, en cartuchos plásticos, en tubos o a granel. Las cápsulas de vidrio se insertan en la perforación, luego la barra de anclaje rompe las cápsulas cuando se rota y martilla para colocarla en su lugar, mezclando así los dos componentes para provocar una reacción química. Los cartuchos plásticos se utilizan con un dispensador y una boquilla mezcladora que mezcla los dos componentes, iniciando una reacción química mientras se instala el compuesto en la perforación. Luego se inserta la barra de anclaje en la perforación, completando así la instalación.

El tiempo de fraguado depende de la temperatura, y puede variar entre unos pocos minutos para temperaturas de 90° F hasta varias horas para temperaturas de 30° F. Los tubos, o sistemas tipo "salchicha," contienen dos componentes que se mezclan amasando el tubo, colocando la mezcla en la perforación y finalmente insertando la barra de anclaje. Los sistemas a granel por lo general utilizan epoxis, y se pueden premezclar en una batea y utilizar inmediatamente o bien bombear a través de una mezcladora e inyectar en la perforación. El anclaje se instala inmediatamente después que el compuesto. Los epoxis se pueden formular de manera que fragüen rápida o lentamente.”⁷

⁷ ACI 355. 1R-91. Informe sobre el estado del arte en los anclajes en hormigón.

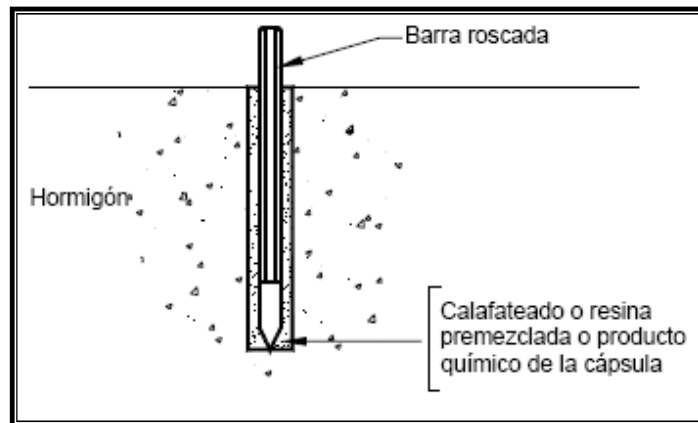


Imagen II.2. Anclaje químico con barra roscada

Fuente: ACI 355

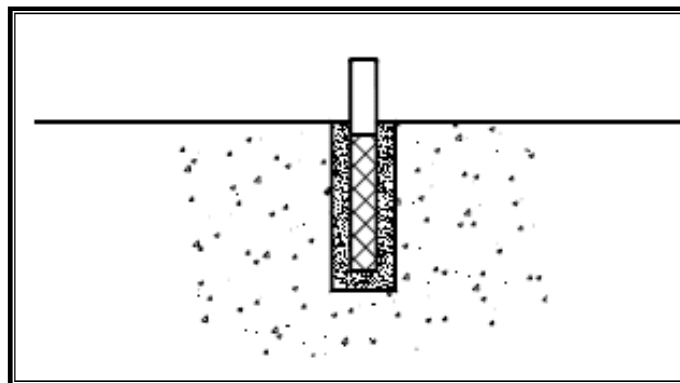


Imagen II.3. Anclaje químico con barra conformada

Fuente: ACI 355

Entre las características y aplicaciones que presenta el anclaje químico, el cual sirve para empotrar varillas de acero corrugadas y/o roscadas en materiales como concreto, se encuentran:

- La densidad del fluido facilita su aplicación a huecos pequeños en el concreto.
- Se puede inyectar a presión en fisuras en concreto.

- Es un anclaje especial para soportar cargas dinámicas como las sísmicas, las de viento y las variables.
- Ampliar y reforzar zapatas en concreto.
- En construcción de túneles para empotrar varillas.
- En construcción de plantas de agua y represas. (Se puede aplicar bajo agua).
- Se utiliza para empotrar máquinas y evitar la transmisión de la vibración hacia las fundaciones.

II.5 ENSAYOS DE REFERENCIA

II.5.1. ENSAYOS BAJO CONDICIONES DE SERVICIO

El propósito de los ensayos bajo condiciones de servicio es determinar los datos básicos requeridos para predecir el comportamiento del anclaje bajo condiciones de servicio.

II.5.2. ENSAYO DE TRACCIÓN BAJO CONDICIONES DE SERVICIO PARA UN ANCLAJE INDIVIDUAL PRÓXIMO A DOS BORDES (ANCLAJE EN ESQUINA):

El propósito de este ensayo es determinar si un anclaje satisface el requisito que establece que la distancia crítica al borde debe ser $\leq 1,5hef^8$, en elementos de concreto que tengan el mínimo espesor especificado para dicho anclaje. Realizar los ensayos sobre anclajes individuales en concreto de baja resistencia, no fisurado, en una esquina cuyas dos distancias al borde sean iguales a $1,5hef$.

⁸ hef: profundidad embebida efectiva, medida desde la superficie del concreto hasta el punto más profundo en el cual la carga de tracción del anclaje se transfiere al concreto. ACI-355

II.5.2.1. Ensayo bajo condiciones de servicio para mínima distancia al borde y mínima separación

Este ensayo verifica que el concreto no experimentará una falla por fisura durante la instalación del anclaje.

II.5.2.2. Ensayo de corte bajo condiciones de servicio para anclajes individuales no afectados por los efectos de borde y separación

La intención de este ensayo es evaluar la capacidad de corte de los anclajes determinada por la falla del acero en aquellas situaciones en las cuales no es posible calcular la capacidad de corte de manera confiable. Realizar ensayos de corte en concreto no fisurado para los anclajes cuya sección transversal, a una distancia menor o igual que cinco diámetros del anclaje a partir del plano de falla por corte, sea menor que la de un bulón roscado que tenga el mismo diámetro nominal que el anclaje.

II.5.2.3. Ensayos de tracción sísmica simulada bajo condiciones de servicio

La intención de estos ensayos opcionales es evaluar el comportamiento de los anclajes bajo tracción sísmica, incluyendo los efectos de las fisuras y el caso sin influencia de los bordes.

Se realizan ensayos que simulen las cargas de tracción sísmica pulsantes sobre anclajes con la menor longitud embebida para la cual están calificados para su uso en concreto fisurado. Estará permitido ensayar los anclajes con una longitud embebida mayor a fin de verificar capacidades de carga mayores para longitudes embebidas más profundas.

Instalar el anclaje en una fisura cerrada . Abrir la fisura hasta que tenga un ancho de 0,020 in. (0,5 mm). Si el fabricante no especifica ningún torque, antes de realizar el ensayo ajustar el anclaje a mano. En el caso de los anclajes con rosca interna, ensayar los anclajes con un bulón según lo especificado por el fabricante. Someter los anclajes a las cargas de tracción de variación sinusoidal, utilizando una frecuencia de carga comprendida entre 0,1 y 2 Hz.

Una vez que el anclaje haya sido sometido a los ciclos de tracción sísmica simulada, cargar el anclaje en tracción hasta la falla utilizando un ancho de fisura inicial mayor o igual que el ancho de fisura al final del ensayo cíclico.

Registrar el pico de cada ciclo de carga y el correspondiente desplazamiento del anclaje para la tracción pico. Si el anclaje falla antes de completar los ciclos requeridos, registrar el número de ciclos y la carga en el momento de la falla.

II.5.2.4. Ensayos de corte sísmico simulado bajo condiciones de servicio

La intención de estos ensayos opcionales es evaluar el comportamiento de los anclajes bajo cargas que simulen cargas de corte sísmico alternantes.

Se ensayar los anclajes con la menor longitud embebida para la cual están calificados para su uso en concreto fisurado. Estará permitido ensayar los anclajes con una longitud embebida mayor a fin de verificar capacidades de carga mayores para longitudes embebidas más profundas.

Una vez que se hayan efectuado los ciclos de carga sísmica simulada, ensayar los anclajes hasta su falla aplicando corte estático. Registrar la carga de corte pico

para cada semiciclo y el correspondiente desplazamiento del anclaje en la dirección de la carga.

Todos los anclajes deberán pasar el ensayo de corte sísmico simulado. Los anclajes ensayados al 50% de la capacidad de corte última media deberán ser clasificados para su capacidad total según lo determinado mediante ensayos estáticos. Estará permitido ensayar los anclajes que no pasen estos ensayos utilizando menores cargas cíclicas máximas.

II.6 RESINA EPÓXICA

“Una Resina Epóxica es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas epóxicas están constituidas comúnmente de dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados; al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina, su curado se realiza a temperatura ambiente, durante ese curado o secado se forman enlaces cruzados lo que hace que su peso molecular sea elevado.”⁹

II.6.1 PROPIEDADES DE LAS RESINAS EPÓXICAS

- Humectación y adherencia son óptima.
- Buen aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia mecánica.
- Resisten la humedad.
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos.
- Resisten temperaturas elevadas
- Excelente resistencia química

⁹ Resina epoxica, Enciclopedia allstudies.com

- Poca contracción al curar
- Excelentes propiedades Adhesivas.

II.6.2 APLICACIONES DE LAS RESINAS EPÓXICAS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Las resinas epóxicas se usan en la industria de la construcción para unir bloques y como argamasa en edificios, además unión entre concretos, morteros, juntas, membranas, anclajes, pinturas y reparación estructural.

Los epóxicos se usan mucho en capas de impresión, tanto para proteger de la corrosión, el ataque de ácidos y químicos como para mejorar la adherencia de las posteriores capas de pintura; debido a su alta densidad manejan una carta de colores muy limitada. Su acabado superficial generalmente tiende a ser semibrillante, pero con el tiempo se vuelve mate. Entre sus usos están: Para exterior e interior de superficies en la protección de metal, madera, concreto o asbesto-cemento, humos, polvo, salpique y derrame de solventes alifáticos, para áreas costeras y ambientes marinos. En interior y exterior de tuberías de agua a presión, enterradas o al aire, para fondos de cascos (como pintura de barrera), pintura de suelos industriales o de alto tráfico, para tanques, estructuras de acero sumergidas, maquinarias y equipos en ambientes industriales de alta agresividad. En exposición atmosférica entizan y amarillean con el tiempo por lo que hay que tener cuidado y de ser necesario recubrir con alguna pintura tipo gel de ser necesario.

II.7. COMPORTAMIENTO DE LOS ANCLAJES EN CONCRETO SOLICITADOS A TRACCIÓN

Los diferentes tipos de anclajes tienen diferentes características de desplazamiento dependiendo de la precarga, el mecanismo de transferencia de las cargas y el modo de falla.

Si a un anclaje se le aplica una precarga, lo cual típicamente se realiza ajustando la tuerca con un torque preestablecido, esto afecta el desplazamiento provocado por las cargas aplicadas externamente. Un anclaje que ha sido precargado evidencia poco desplazamiento a medida que aumenta la carga exterior hasta que se supera la precarga en el anclaje (y la fuerza resultante en el hormigón). La precarga no afecta la capacidad de tracción estática última del anclaje, pero reduce significativamente su desplazamiento total

II.7.1. LOS TRES MODOS DE FALLA PRIMARIOS DE LOS ANCLAJES SOLICITADOS A TRACCIÓN SON LOS SIGUIENTES

- Falla del acero.
- Falla por desprendimiento de un cono de concreto de un anclaje traccionado.
- Falla por deslizamiento de la barra (por la resina).

II.7.1.1. Falla del acero

La resistencia del acero de los anclajes controla la falla si la longitud embebida del anclaje es suficiente para excluir las fallas del hormigón y si las fuerzas de expansión son suficientemente elevadas (anclajes de expansión) o si la superficie

de apoyo es suficientemente grande (anclajes con cabeza y rebajados) para excluir las fallas por resbalamiento del anclaje.

El modo de falla consiste en la rotura del acero del anclaje, dependiendo la ductilidad del tipo de acero del anclaje y de la longitud embebida. La resistencia última se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$F_u = A_s \times f_{ut} \quad (\text{Ecuación II.3})$$

A_s = área bajo tensión de tracción, in.

f_{ut} = resistencia última a la tracción del acero, psi

Dadas las propiedades del material y las dimensiones de los anclajes, este caso define el límite superior para la capacidad de carga de tracción.

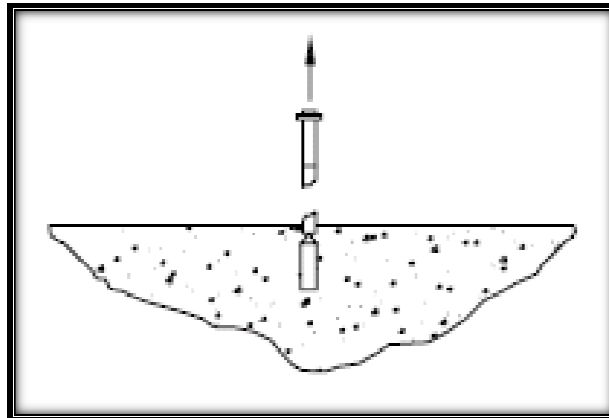


Imagen II.4. Falla del acero.

Fuente: ACI 355

II.7.1.2 Falla de un cono de concreto

Cuando la longitud embebida de un anclaje o grupo de anclajes es insuficiente para desarrollar la resistencia a la tracción del acero de los anclajes, el modo de falla principal es una falla por arrancamiento del hormigón en forma de cono.

El ángulo del cono de falla, medido a partir del eje del anclaje, varía a lo largo de la superficie de falla y muestra una dispersión considerable. En la norma ACI 349 (Comité ACI 349, 1985) se asume que el ángulo del cono de falla de los anclajes con cabeza y de expansión es de 45° (más desfavorable).

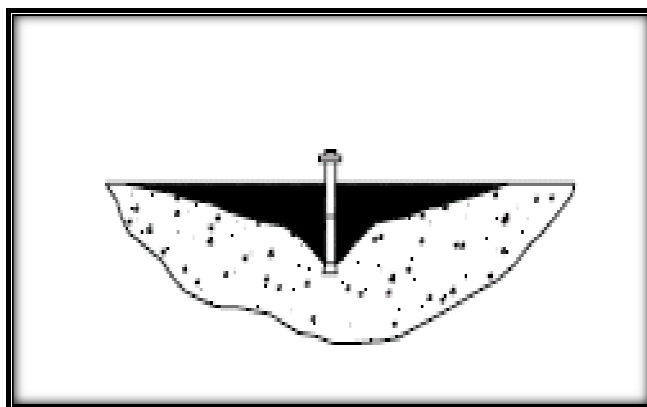


Imagen II.5. Falla de un cono de concreto

Fuente: ACI 355

II.7.1.3. Falla por deslizamiento de la barra (por la resina)

Los anclajes adhesivos exhiben comportamiento elástico prácticamente hasta la carga máxima (Grafica II.1). Aunque las curvas carga-desplazamiento de los anclajes químicos muestran coeficientes de variación relativamente bajos en comparación con los anclajes de expansión, las resistencias por adherencia varían considerablemente dependiendo de la mezcla de componentes químicos y el procedimiento de instalación utilizados.

Bajo cargas de trabajo todas las categorías de anclajes se deberían comportar elásticamente, con poco desplazamiento adicional después de su instalación. Sin embargo, bajo cargas últimas es deseable que el comportamiento sea plástico y, en el caso de cargas cíclicas, que haya apenas una degradación limitada de la resistencia.

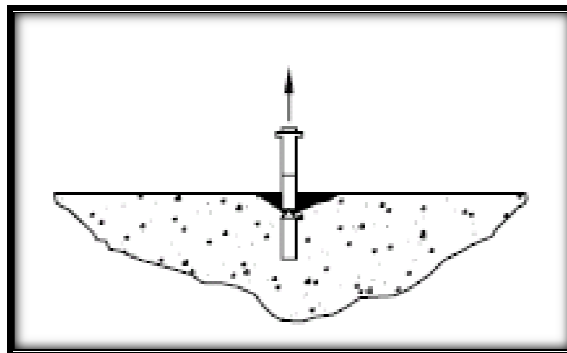


Imagen II.6. Falla por deslizamiento de la barra

Fuente: ACI 355

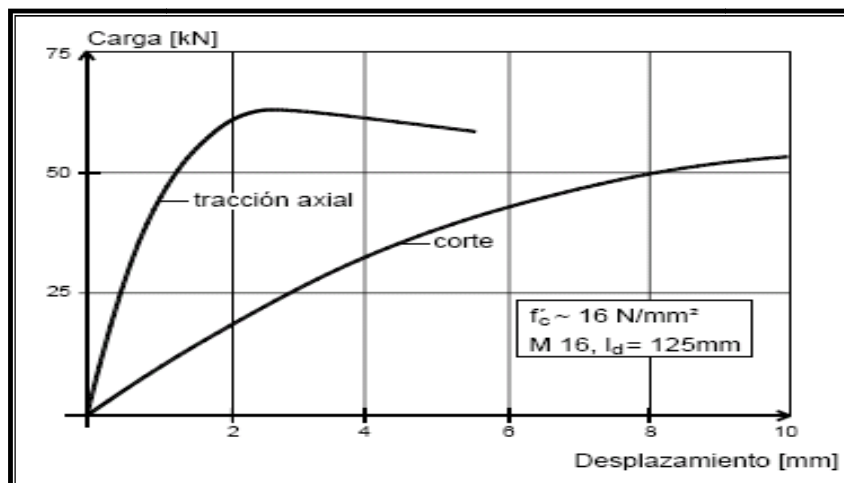


Gráfico II.1. Típicas relaciones carga-desplazamiento para anclajes químicos bajo carga de tracción y corte

Fuente: ACI 355

CAPITULO III: MÉTODO

El siguiente capítulo, describe los procedimientos empleados para la evaluación del comportamiento de los conectores adheridos basados en barra de acero roscada con resina epóxica, en elementos estructurales de concreto armado. La descripción de estos procedimientos tiene como finalidad desarrollar el área de investigación a la cual va dirigida este Trabajo Especial de Grado e igualmente persigue validar e incorporar a las referencias actuales valores provenientes de estos ensayos.

Cabe destacar que previo a la evaluación, se verificará la resistencia a la compresión y tracción, del concreto y del acero respectivamente, mediante ensayos respaldados por procedimientos experimentales establecidos en la normativa nacional, con la finalidad de descartar las causas de las posibles fallas.

III.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

Para la elaboración de las mezclas de concreto fue importante conocer la procedencia y características de los materiales a utilizar, puesto que los resultados que se iban a generar dependían, en gran medida de sus propiedades.

En esta investigación se utilizaron mezclas de concreto procedentes de la premezcladora “Rapid concreto”, ubicada en La Guaira, Estado Vargas, debido a la disposición de los agregados y del cemento.

El cemento empleado fue “Cemento Portland tipo I” suministrado a la premezcladora por la planta cementera Cemex. Por otra parte los agregados gruesos proceden de la cantera “Piedra Maracay” y los finos de “Puente Arena”.



Imagen III.1.- Planta de Premezclado Rapid Concreto

Fuente: Elaboración propia

III. 2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

III.2.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto. El análisis granulométrico, tanto del agregado grueso como del fino, se realizó según lo contemplado en la norma COVENIN 255-1998 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica.



Imagen III.2.- Agregados gruesos y finos en planta

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO:

Según lo estipulado en la norma, luego de pesar en la balanza, 23 Kg. de muestra representativa de agregado grueso seco, se ensamblaron los tamices en orden de tamaños de aberturas decrecientes desde arriba hacia abajo: 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", #100, colocando la muestra en el tamiz superior. Se determinó la masa de cada porción de la muestra en los tamices, verificando que la masa total del material después del tamizado coincidió con la masa original de la muestra colocada inicialmente en el tamiz superior.



Imagen III.3. Selección del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO FINO:

Según lo estipulado en la norma, una vez pesada la muestra de arena húmeda, se procedió a secarla en una hornilla por 24 horas para que alcanzara una masa constante y así obtener el porcentaje de humedad de la misma con un resultado más preciso. Luego se pesó este nuevo valor de arena, para determinar la diferencia de peso entre la inicial y la final. Se ensamblaron los tamices en orden de tamaños de aberturas decrecientes desde arriba hacia abajo: 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, colocando la muestra en el tamiz superior. Se agitaron los tamices con ambas manos hacia los lados. Se determinó la masa de cada porción de la muestra en los tamices, verificando que la masa total del material después del tamizado coincidió con la masa original de la muestra colocada inicialmente en el tamiz superior.



Imagen III.4.- Muestra de agregado fino

Fuente: Elaboración propia

Se calculó, para ambos agregados, el porcentaje del material retenido en cada tamiz y el porcentaje total del material que pasó por cada tamiz, para finalmente construir las gráficas de las curvas granulométricas porcentaje de pasantes versus tamaño de partícula en mm.

III.2.2 HUMEDAD

Para el cálculo de la humedad del agregado fino se realizaron los siguientes pasos:

1. Se pesó 500 gr. de agregado fino.
2. Se colocó al horno a 105°C por 24 horas.
3. Al término de las 24 horas se retiró la muestra del horno y se volvió a pesar.
4. La diferencia de peso entre el material húmedo y el mismo secado al horno brindó el valor correspondiente a la humedad.

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100 \quad (\text{Ecuación III.1})$$

: Peso de agua libre

: Peso de muestra seca

III.2.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Peso Específico (γ_G) y Porcentaje de Absorción (G) del Agregado Grueso:

Se obtuvo según lo estipulado en la Norma COVENIN 269-78 "Método de Ensayo Para Determinar el Peso Específico y la Absorción del Agregado Grueso".

Densidad Nominal:

$$\rho = \frac{d \cdot M_1}{M_1 - M_3} \quad (\text{Ecuación III.2})$$

d: densidad del agua (gr/ml)

M1: es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno, en gr.

M3: es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada, en gr.

Densidad Aparente:

$$\rho_a = \frac{d \cdot M_2}{M_2 - M_3} \quad (\text{Ecuación III.3})$$

d: densidad del agua (gr/ml)

M1: es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno, en gr.

M2: es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y de superficie seca, en gr.

M3: es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada, en gr.

Absorción de Grueso (G):

$$G = \left(\frac{G_{SSS} - M_1}{M_1} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación III.4})$$

GSSS: es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y de superficie seca, en gr.

M1: la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno, en gr.

Porcentaje de Absorción del Agregado Fino:

Se obtuvo según lo estipulado en la Norma COVENIN 268-78 "Método de Ensayo Para Determinar el Peso Específico y la Absorción del Agregado Fino".

$$A = \left[\frac{A_{SSS} - M_1}{M_1} \right] * 100 \quad (\text{Ecuación III.5})$$

A_{SSS}: es la masa de la muestra saturada y de superficie seca, en gr

M1: es la masa de la muestra en el aire secada al horno, en gr.



Imagen III.5 y III.6.- Procedimiento Peso Específico y % de Absorción

Fuente: Elaboración propia

III.3 DISEÑO DE MEZCLAS

El concreto fue suministrado por la premezcladora “Rapid concreto”, ubicada en la Guaira, Estado Vargas. El diseño de mezcla empleado se fundamentó en la metodología expuesta en el "Manual de Concreto Estructural" de Joaquín Porrero (Diseño de mezcla convencional).

En el Trabajo Especial de Grado se elaboraron diseños de mezclas para concretos con resistencias a compresión de 180, 250 y 310 kg/cm² alcanzadas a los 28 días.

A continuación se presentan las variables fundamentales que se consideraron para la ejecución del procedimiento del diseño de mezcla.

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

Para estimar la resistencia de cálculo de concreto Portland Tipo I se utilizó la siguiente ecuación

$$f'_{cr} = f'_c - z * \sigma \quad (\text{Ecuación III.6})$$

$f'c$: Resistencias Fijadas (180, 210, 250, 300 Kg/cm²)

Z: Fracción Defectiva = 9% → $z = -1,3410^{10}$

: Desviación Estándar (20 → para los agregados utilizados)

III.3.2 LEY DE ABRAMS

La Ley de Abrams establece la correspondencia entre la relación agua/cemento (α) en peso y la resistencia del concreto, y está representada por la ecuación:

$$\overline{R}_{28} = \frac{M}{N^\alpha} \quad (\text{Ecuación III.7})$$

$M_{28} = 902,5$ (constante)

$N_{28} = 8,69$ (constante)

III.3.3 RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Al obtener la relación agua cemento (α), se procedió a ajustarse el mismo con factores de corrección que dependen del tipo de agregado y tamaño máximo (Tablas III.1 y III.2).

$$\alpha = \frac{\lg\left(\frac{902,5}{R_{28}}\right)}{\lg(8,69)} \quad (\text{Ecuación III.8})$$

En el caso del trabajo de investigación se tomó como factor de corrección el valor de 1,00 por lo que el valor de α no sufre ninguna modificación.

¹⁰ Tabla VI.3 del Libro Manual de Concreto Estructural, Pág. 133. (Romero R., Porrero J.)

Tabla III.1.- Kr Factor para Corregir α por Tamaño Máximo, mm (pulgada)

Tamaño	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
Máximo	($\frac{1}{4}$)	($\frac{3}{8}$)	($\frac{1}{2}$)	($\frac{3}{4}$)	(1)	(1 $\frac{1}{2}$)	(2)	(2 $\frac{1}{2}$)	(3)
Factor Kr	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

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

Tabla III.2.- KA Factor para Corregir α por Tipo de Agregado

Gruesos Finos	Triturados	Semi Triturados	Canto Rodado (Grava Natural)
	Arena Natural	1,00	0,97
Arena Triturada	1,14	1,10	0,93

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

III.3.4 RELACIÓN TRIANGULAR

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 :

$$C = Kx \alpha^m x T^n \quad (\text{Ecuación III.9})$$

K, m y n : 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 tipo I Portland.

con la Ecuación III.10. se obtiene buenos ajustes

$$C = \frac{117,2 * T^{0,16}}{\alpha^{1,3}} \quad (\text{Ecuación III.10})$$

El valor de la trabajabilidad (T) fue fijado en 5 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 C1 y C2 por tamaño máximo de 1" y por tipo de agregado respectivamente serán 1,00 y 0,90 (Ver tablas III.3 y III.4)

Tabla III.3.- C1 Factor para Corregir C por Tamaño Máximo, mm (pulgada)

Tamaño Máximo	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
	(¼)	(⅜)	(½)	(¾)	(1)	(1½)	(2)	(2½)	(3)
Factor C1	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

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

Tabla III.4.- C2 Factor para Corregir C por Tipo de Agregado

Gruesos / Finos	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, (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:

$$\beta = \frac{A}{A+G} \quad (\text{Ecuación III.11})$$

En este Trabajo Especial de Grado se calculó según el método gráfico recomendado por el Manual del Concreto que establece las combinaciones óptimas de agregados para obtener mezclas de calidad.

III.3.7 VOLUMEN ABSOLUTO

(Ecuación III.12)

a: Agua.

C: Dosis de Cemento expresado en Kg/m.

α: Relación agua-cemento.

III.3.8 VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

La ecuación de volumen para 1 m³ de mezcla, se define mediante la expresión:

$$V_C + V_a + V + V_{(A+G)} = 1000l \quad (\text{Ecuación III.13})$$

$$0,3 * C + a + V + \frac{(A+G)}{\gamma_{(A+G)}} = 1000l \quad (\text{Ecuación III.14})$$

A: Dosis de Arena expresada en Kg/cm²

G: Dosis de Piedra expresada en Kg/cm²

γ: Promedio Ponderado del agregado combinado que está dada por la expresión

$$\gamma_{(A+G)} = (1 - \beta)x\gamma_G + \beta x\gamma_A \quad (\text{Ecuación III.15})$$

β: Expresada en tanto por uno

III.3.8.1 Dosis de Arena

$$A = (A + G) \times \beta \quad (\text{Ecuación III.16})$$

A: Expresada en Kg/cm²

III.3.8.1 Dosis de Piedra

$$G = (A + G) - A \quad (\text{Ecuación III.17})$$

G: Expresada en Kg/cm²

III.3.9 CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Se consideró la absorción de agua de los agregados en la etapa de mezclado, es por ello que para calcular el agua de la mezcla se debe corregir los agregados aplicando la siguiente ecuación:

Agregado Grueso:

$$G_W = \frac{G_{SSS}(100+W)}{100+Ab} \quad (\text{Ecuación III.18})$$

G_W: Peso del material húmedo

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

Ab: Capacidad de absorción de agua del agregado

Agregado Fino:

$$A_W = \frac{A_{SSS}(100+W)}{100+Ab} \quad (\text{Ecuación III.19})$$

A_W: Peso del material húmedo

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

A_b: Capacidad de absorción de agua del agregado

III.3.10 AGUA DE LA MEZCLA

$$a_M = a_D + A_{SSS} - A_W + G_{SSS} - G_W \text{ (Ecuación III.20)}$$

a_M: Agua de la mezcla expresada en

a_D: Dosis de agua calculada en el diseño de la mezcla, en

III.3.11 DOSIFICACIÓN

La dosificación se calculó para una mezcla de 0,5 m³ :

$$C = C_c \times 0,5 \text{ m}^3 \quad \text{(Ecuación III.21)}$$

C: Dosis de cemento en Kg

CC: Dosis de Cemento Corregida Kg/m³

$$\text{Agua} = a_m \times 0,055 \text{ m}^3 \quad \text{(Ecuación III.22)}$$

Agua: expresada en kg

$$G = G_x \times 0,055 \text{ m}^3 \quad \text{(Ecuación III.23)}$$

G: cantidad de piedra expresado en kg

$$A = A_x \times 0,055 \text{ m}^3 \quad \text{(Ecuación III.24)}$$

A: cantidad de arena 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 contemplado en la Norma COVENIN 338-1994 "Método de elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto".

Una vez conocida las dosis y cantidades de los componentes de la mezcla para cada una de las 3 resistencias a ensayar, se llevó a cabo el proceso de mezcla para el concreto, el cual fue realizado por la premezcladora "Rapid concreto", ubicada en la Guaira, Estado Vargas. El concreto se trasportó en un camión mezclador constituido por un tambor con capacidad de 7 metros cúbicos, en cuyo interior se encontraban adosadas un conjunto de aletas, que cumplen la función de mezcladoras de los ingredientes o simplemente agitadores para impedir la segregación.

En el Trabajo Especial de Grado se elaboraron mezclas con resistencias a compresión de 180, 210, 310 Kg/cm² alcanzadas a los 28 días.



Imagen III.7.- Vaciado

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de las probetas de concreto se disponen 14 moldes metálicos cilíndricos con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura y de 7 viguetas rectangulares de 80 cm. de largo, 15 cm. de ancho y 16 cm. de alto, en los cuales se vacía la mezcla; se deja reposar un día, para desencofrar y limpiarlos.



Imagen III.8.y III.9- Probetas a emplear

Fuente: Elaboración propia

II.4.1 MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS:

La medición del asentamiento final se realizó tomando en consideración la Norma COVENIN 339-1994 “Método para Medición del Asentamiento”.

El cono de Abrams está construido de acero, con un espesor aproximado de 1.5 mm. Su parte interior tiene forma de un tronco de cono, con dimensiones de 20 cm de diámetro de base mayor, 10 cm de diámetro de base menor y 30 cm de altura. Las bases son abiertas y paralelas entre sí, perpendiculares al eje del cono. Está provisto de asas y aletas.

El molde se colocó sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente (una lámina metálica). El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la muestra 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 la barra compactadora de acero, recta, cilíndrica y lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con el extremo semiesférico, 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.

Inmediatamente se retiró el molde, 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.



Imagen III.10 y III.11.- Medición del asentamiento

Fuente: Elaboración propia

III.4.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS

Se limpió el molde eliminando restos adheridos de mezclas anteriores. Su superficie interior y su base se aceitaron con gasoil. El 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.

Los golpes se distribuyeron uniformemente en toda la sección transversal del molde.

Se golpearon suavemente las paredes del molde y se enrasó la probeta con la barra compactadora, de manera que la superficie quedó perfectamente lisa y al ras con el borde del molde.



Imagen III.12 y III.13.- Elaboración de probetas

Fuente: Elaboración propia

Las probetas se retiraron de los moldes en un lapso de tiempo aproximado de 24 horas después de su elaboración y se tomaron en cuenta dos condiciones:

Siete probetas se sumergen en tanques de agua saturada de cal para su curado, luego se trasladan al laboratorio para realizarles el ensayo a compresión a los 7,14,21 y 28 días de ser desencofradas.

Siete probetas no se sumergen en tanques de agua para su curado, en su lugar se exponen al aire, con el fin de verificar las posibles condiciones reales de trabajo en obra, obteniendo de esta forma un máximo y un mínimo para la evaluación. Los ensayos a compresión se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días de ser desencofradas.



Imagen III.14 y III.15.- Curado de probetas

Fuente: Elaboración propia

III.4.3 ENSAYO DE ULTRASONIDO

El ensayo de ultrasonido se realizó según la Norma COVENIN 1976:2003. (3era Revisión) y 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.



Imagen N°III.16 .- Ensayo de Ultrasonido

Fuente: Elaboración propia

III.4.4 MÉTODO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN:

Este método se realizó siguiendo el procedimiento explicado en la Norma COVENIN 338 y se utilizó la Prensa Universal de 200 toneladas que se encuentra en el IMME, cuyas especificaciones se encuentran en el apéndice N 1. La finalidad es verificar y registrar los valores de resistencia a compresión de los cilindros. Se ensayaron tres cilindros por resistencia evaluada, a los 7, 14, 21 y 28 días de la realización de las probetas.

Se determinó el diámetro de cálculo del cilindro, promediando tres diámetros ortogonales al eje del mismo. Luego se determinó su altura, con la ayuda de un bernier. Los cilindros se colocaron en la Prensa Universal de 200 toneladas que se encuentra en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, donde se conto con la ayuda del personal técnico para la manipulación de la Prensa Universal. Finalmente se tomaron los datos de carga soportada, y con las dimensiones anteriores, se calculó la resistencia a compresión de las probetas



Imagen III.17 y III.18.- Ensayo a compresión

Fuente: Elaboración propia

III.5 MÉTODO DEL ENSAYO A TRACCIÓN DE LA BARRA ROSCADA

El ensayo se realizó bajo los lineamientos de la Norma COVENIN 299 “Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos”; el cual consiste en someter una probeta a una fuerza de tensión axial, y se va midiendo simultáneamente los alargamientos hasta producirse la rotura del material.

Se tomó la probeta y se sujetó a la Prensa Universal de Ensayo marca Baldwin, serial 522685, capacidad 30 Ton, apreciación 25 kgf.

Se sometieron a un esfuerzo de tracción cinco barras de acero de $\frac{3}{4}$ ”, y se conoció su esfuerzo máximo y la deformación producida en función del esfuerzo realizado.

III.6 ENSAYO DE ADHERENCIA DE LA RESINA EPÓXICA

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

Se construyeron 15 probetas, soldando una plancha de acero cuadrada de 4 cm de lado con 3 mm de espesor a uno de los extremos de una barra de acero con resaltes de 15 cm de largo y diámetro 3/8".

Se dispuso de 15 porciones de concreto endurecido, cúbicas, de 7 cm de lado. Se adhirió cada probeta, por el extremo que contiene la lámina, a la porción de concreto endurecido mediante la resina epóxica. Se dejó secar por un lapso de 24 horas para su curado (tiempo recomendado por el fabricante).

Se colocó la probeta en Prensa Universal marca Baldwin, serial 522685, capacidad 30 Ton, apreciación 1 kgf; de manera tal que la porción de concreto quedó en la parte superior, sujeta por una pieza de elaboración propia, adaptada a las dimensiones de la porción de concreto. Finalmente se aplicó la carga a la probeta y se anotó la carga máxima de cada una, así como los tipos de falla observados.

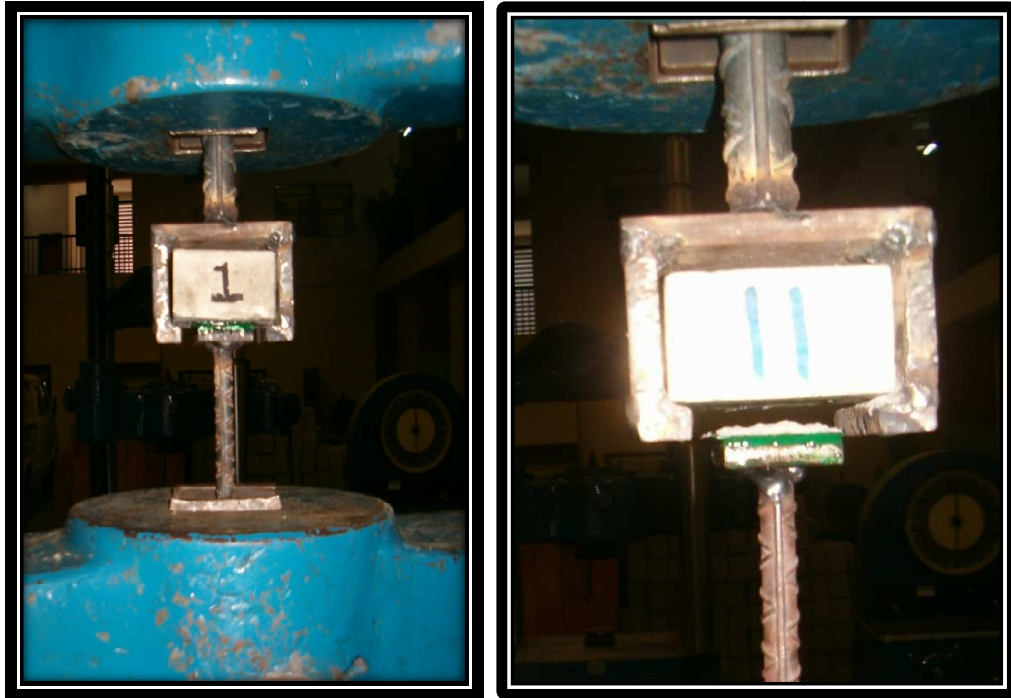


Imagen III.21 y III.22.- Ensayo de adherencia de resina epoxica.

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar, que la metodología empleada en éste ensayo corresponde a la asignada por la Embajada China.

III.7 ENSAYO DE EXTRACCIÓN DEL ANCLAJE DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPÓXICA (PULL OUT)

Este ensayo evaluó el comportamiento del anclaje de barra acero roscada adherida con resina epóxica, evidenciando el tipo de falla que presentó al someterse a una carga máxima admisible.

La metodología empleada está basada en lineamientos de diseño atribuidos a la práctica común. Las condiciones reales de trabajo en obra indican que se perfora el concreto con una apertura de diámetro de 1 1/4" y una longitud efectiva de 10 cm, se colocan 5 cm de la resina epóxica por inmersión, para luego introducir la barra roscada en el orificio. Finalmente se coloca otra porción de resina por rebose.

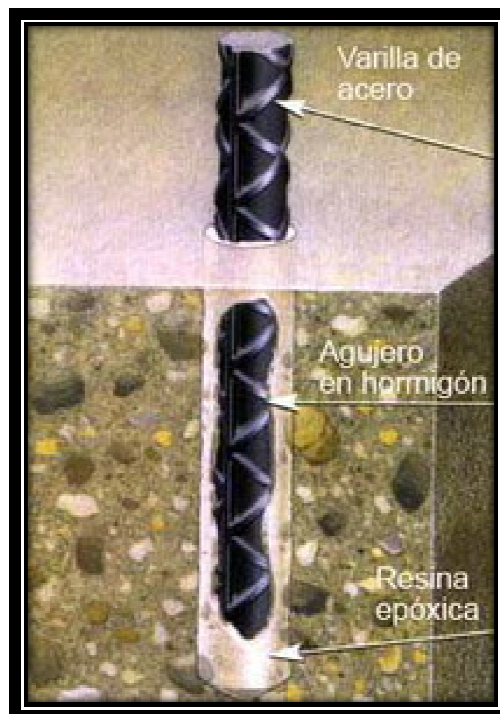


Imagen III.23.- Anclaje de barra de acero con resina epóxica

Fuente: Página web www.construnario.com

Con base en la metodología de construcción descrita anteriormente se estableció como método de trabajo la realización de tres condiciones de ensayo con diámetros diferentes para verificar el comportamiento de los anclajes.

Se dispuso de aberturas de:

- 1 1/4" motivado en la práctica común.
- 1 1/8" por ser el máximo recomendado por el fabricante.
- 1" espesor mínimo práctico, se espera que al reducir el área de adherencia aumente la resistencia.

Adicionalmente se establecieron tres resistencias del concreto (180, 250 y 310 kg/cm²) para verificar la efectividad de acuerdo con la calidad del material.

Aunque el proyecto original contempla barras roscadas, también se realizaron ensayos con pernos (carga admisible de 5.600 Kgf según su fabricante) en los cuales se tomó un solo orificio (1 1/2") y tres condiciones de resistencias de concreto antes mencionadas.

En general se dispuso de diez viguetas, por resistencia, para un total de treinta viguetas. La disposición de los anclajes, por resistencia de concreto, se hizo de la siguiente manera:

- Siete viguetas con dos barras roscadas cada una.
- Una vigueta con una barra roscada y un perno.
- Dos viguetas con dos pernos cada una.

Las distancias entre anclajes fueron de 40 cm, y las distancias a los bordes fueron de 15 cm.

El equipo utilizado consta de un gato hidráulico, una bomba hidráulica y un manómetro de capacidad 600 kgf/cm², cuyas especificaciones se muestran en el apéndice N.3

Se colocó una placa en la vigueta, en la cual se introdujo el gato hidráulico. Éste aplica la presión sobre el concreto, sujetando el anclaje con una cuña mientras le realiza la extracción.

La carga máxima se observa en un manómetro que se encuentra conectado al gato hidráulico.



Imagen III.24.- Ensayo de extracción al anclaje de barra roscada con resina epoxica

Fuente: Elaboración Propia.

III.8 AJUSTE DE DISEÑO DE LOS ANCLAJES MECÁNICOS DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPOXICA

Se calculó la resistencia máxima de diseño de la barra de acero, del cono de concreto y de la resina según lineamientos del Código ACI 318 (ver apéndice N 4). Para el diseño, se tomó como carga máxima correspondiente a la barra roscada,

esto se debe a que el diseño del anclaje implica que la falla se produzca por cedencia del acero.

Seguidamente se calculó la longitud de perforación requerida para que el anclaje cumpla con la condición anterior, manteniendo constantes las características iniciales de los materiales.

Se calculó la cantidad de anclajes necesaria, para lograr equivalencia de la carga máxima, manteniendo constantes las características de los materiales y la longitud inicial de diseño (10 cm).

Se calculó la adherencia de la resina epóxica requerida, para cumplir con la carga máxima de la barra de acero, manteniendo constante la longitud inicial de diseño (10 cm).

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV.1 RESULTADOS

IV.1.1. GRANULOMETRÍA

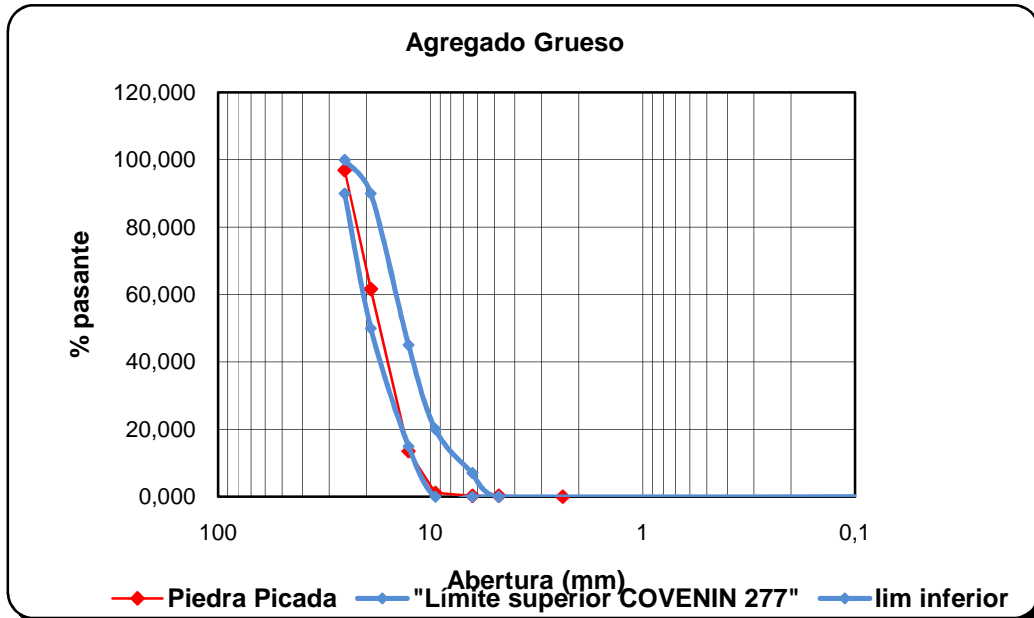
Agregado grueso.

Una vez de realizado el procedimiento contemplado en la Norma COVENIN 255-77, se observa a continuación que la distribución y proporción de los granos a lo largo de la misma describe una tendencia estándar para agregado grueso con tamaño máximo 1". Esta característica influye en la calidad del material para su uso como componente del concreto. (Ver Tabla N°IV.1 y Gráfica N°IV.1)

Tabla N°IV.1.- Granulometría del Agregado grueso

PIEDRA PICADA	TAMIZ	Abert.Tamiz	Peso Ret.	%Ret.	%Acum.	%Pasante
	1"	25,4	0,70	3,042	3,042	96,958
	3/4"	19,1	8,12	35,317	38,359	61,641
	1/2"	12,7	11,07	48,148	86,507	13,493
	3/8"	9,50	2,83	12,302	98,809	1,191
	1/4"	6,350	0,21	0,926	99,735	0,265
	Nº 4	4,760	0,00	0,000	99,735	0,265
	Nº 8	2,380	0,06	0,265	100,000	0,000
	Nº 200	0,074	0,00	0,000	100,000	0,000
	FONDO	FONDO	0,00	0,000	100,000	0,000
		total	23	100,00		

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica N°IV.1.- Curva Granulométrica del Agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia.

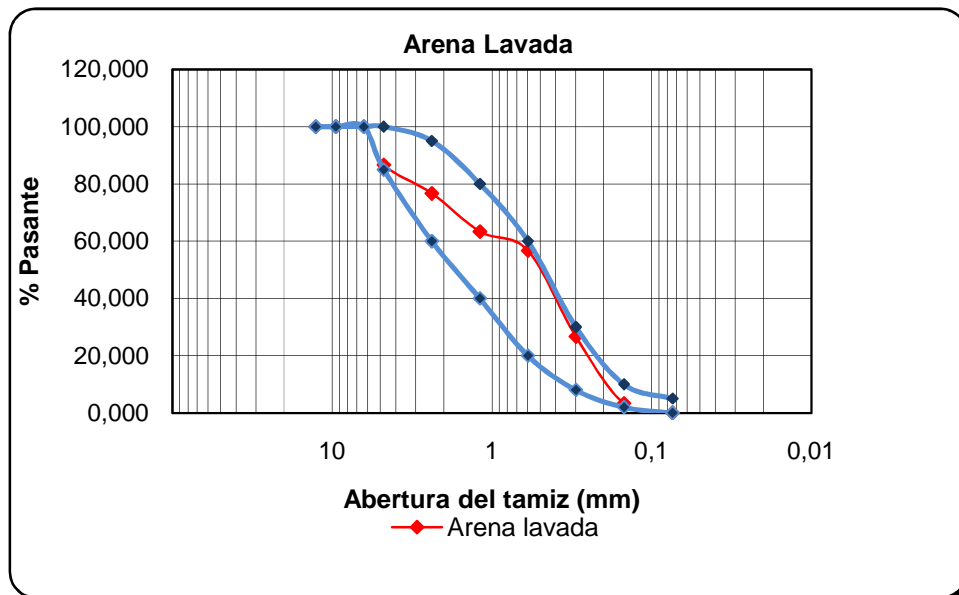
Agregado fino.

Una vez realizado el procedimiento contemplado en la Norma COVENIN 255-77, se observa en la curva granulométrica mostrada a continuación que los porcentajes de pasantes y retenidos en los cedazos tienen una proporción adecuada según la los límites de este agregado; al igual que en el agregado grueso esta característica fue determinante al decidir la calidad del material para su uso como componente del concreto. (Ver Tabla N°IV.2 y Gráfica N°IV.2)

Tabla N°IV.2.- Granulometría del Agregado fino

	TAMIZ	Abert.Tamiz	Peso Ret.	%Ret.	%Acum.	%Pasante
Arena	1/2"	12,7	0	0,000	0,000	100,000
	3/8"	9,50	0	0,000	0,000	100,000
	1/4"	6,350	0	0,000	0,000	100,000
	#4	4,760	0,067	13,333	13,333	86,667
	#8	2,380	0,050	10,000	23,333	76,667
	#16	1,190	0,067	13,333	36,666	63,334
	#30	0,595	0,033	6,667	43,333	56,667
	#50	0,298	0,150	30,000	73,333	26,667
	#100	0,149	0,117	23,333	96,666	3,334
	#200	0,074	0,017	3,334	100,000	0,000
	FONDO	FONDO	0	0,000	100,000	0,000
	total	0,5	100,00			

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica N°IV.2.- Curva Granulométrica del Agregado fino

Fuente: Elaboración Propia.

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

Agregado Grueso:

Es importante realizar el cálculo de peso unitario y de humedad de los agregados según lo indicado en la Norma COVENIN 263-78 y COVENIN 269:1998 respectivamente, ya que estos procedimientos garantizan que las mezclas a emplear proporcionen los resultados esperados.

En la *tabla N° IV.3* se puede observar los resultados de estos cálculos, los cuales corresponden a los usuales para el tipo de agregados empleados.

Tabla N°IV.3.- Resultados de Ensayos de Absorción y Peso Específico

AGREGADO GRUESO: GRAVA 1" "CANTERA MARACAY"				
Peso Específico (gr/cm³)	Porcentaje de Absorción (%)	Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	Peso Unitario Compacto (Kg/m³)	Humedad (%)
2,68	0,77	1400	1600	0

Fuente: Elaboración Propia.

Agregado Fino:

Es importante realizar el cálculo de peso unitario y de humedad de los agregados según lo indicado en la Norma COVENIN 263-78 y COVENIN 268:1998 respectivamente, ya que estos procedimientos garantizan que las mezclas a emplear proporcionen los resultados esperados.

En la *tabla N° IV.4* se puede observar los resultados de estos cálculos, los cuales corresponden a los usuales para el tipo de agregados empleados.

Tabla N°IV.4.-Resultados de Ensayos de Absorción y Peso Específico del Agregado Fino

AGREGADO FINO: PUENTE ARENA					
Peso Específico (gr/cm³)	Porcentaje de Absorción (%)	Modulo de Finura	Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	Peso Unitario Compacto (Kg/m³)	Humedad (%)
2,76	2,4	2,81	1600	1800	5,27

Fuente: Elaboración Propia.

IV.1.3. DISEÑO DE MEZCLA Y DOSIFICACIÓN

Para conocer las cantidades de los componentes que intervienen en la mezcla de cada una de las diferentes resistencias trabajadas, se realizó el diseño de mezcla. Éstas presentan cierto grado de imprecisión debido a que las variables que condicionan la calidad y el comportamiento del concreto son numerosas y difíciles de precisar, es por ello que las proporciones exactas de los componentes se consiguen mediante mezclas de pruebas.

A continuación se presenta las tablas donde se registran los datos de los calculados, los factores de corrección usados para cada mezcla y las dosificaciones en Kg/m^3 .

Tabla N°IV.5.-Datos de la Mezcla de Resistencia 180 Kg/cm²

Datos Procedentes de cálculos		
Data		Unidades
f'c	180,00	kg/cm ²
S	20,00	-
9%	1,34	-
R₂₈	207,00	kg/cm ²
M	902,50	kg/cm ²
N	8,69	kg/cm ²
Tipo de Agregado	Arena Natural	
	Canto Rodado 1"	
T	5,00	Cm
P	25,40	Mm
D_{agua}	1,00	Gr/ml
A	0,681	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.6. Factores de Corrección de la Mezcla de Resistencia 180 Kg/cm²

Factores de Corrección 180 Kg/cm²	
K_R	1,00
K_A	0,91
C₁	1,00
C₂	0,90
a_C	0,620

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.7. Dosificación 180 Kg/cm²

Materiales	Procedencia	Canti.	Material Corregido	Cant.	Vol mezcla real (0,5 m3)	Unidades
		1 m3		1 m3		
Cemento	Cemex	298		298	149	kg/cm ³
Arena	Puente arena	1080	1149	1149	574	kg/cm ³
Piedra	Maracay	800		800	400	kg/cm ³
Agua		187	118	118	59	kg/m ³
Humedad (%)	6					
Asentamiento	5,5"					

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.8.-Datos de la Mezcla de Resistencia 250 Kg/cm²

Datos Procedentes de cálculos		
Data	Unidades	
f'c	250,00	kg/cm ²
S	20,00	-
9%	1,34	-
R₂₈	277,00	kg/cm ²
M	902,50	kg/cm ²
N	8,69	kg/cm ²
Tipo de Agregado	Arena Natural	
	Canto Rodado 1"	
T	5,00	Cm
P	25,40	Mm
D_{agua}	1,00	gr/ml
A	0,547	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° IV.9. Factores de Corrección de la Mezcla de Resistencia 250 Kg/cm²

Factores de Corrección 250 Kg/cm²	
<i>K_R</i>	1,00
<i>K_A</i>	0,91
<i>C₁</i>	1,00
<i>C₂</i>	0,90
<i>a_C</i>	0,497

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° IV.10. Dosificación 250 Kg/cm²

Materiales	Procedencia	Cant.	Material Corregido	Cant.	Vol mezcla real (0,5 m3)	Unidades
		1 m3		1 m3		
Cemento	Cemex	351		351	176	kg/cm ³
Arena	Puente arena	1030	1096	1096	548	kg/cm ³
Piedra	Maracay	800		800	400	kg/cm ³
Agua		187	121	121	61	kg/m ³
Humedad (%)	6					
Asentamiento	6"					

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.11.-Datos de la Mezcla de Resistencia 3 10 Kg/cm²

Datos Procedentes de cálculos		
Data		Unidades
f'c	310,00	kg/cm ²
s	20,00	-
9%	1,34	-
R₂₈	337,00	kg/cm ²
M	902,50	kg/cm ²
N	8,69	kg/cm ²
Tipo de Agregado	Arena Natural	
	Canto Rodado 1"	
T	5,00	cm
P	25,40	mm
D_{agua}	1,00	gr/ml
a	0,456	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.12. Factores de Corrección de la Mezcla de Resistencia 310 Kg/cm²

Factores de Corrección 310 Kg/cm²	
K_R	1,00
K_A	0,91
C₁	1,00
C₂	0,90
a_C	0,415

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.13. Dosificación 310 Kg/cm²

Materiales	Procedencia	Cant.	Material Corregido	Cant.	Vol mezcla real (0,5 m3)	Unidades
		1 m3		1 m3		
Cemento	Cemex	393		393	197	kg/cm ³
Arena	Puente area	990	1065	1065	532	kg/cm ³
Piedra	Maracay	800		800	400	kg/cm ³
Agua		187	112	112	56	kg/m ³
Humedad (%)		7				
Asentamiento		5 1/2"				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.14.- Resumen de Dosificación

Dosificaciones de Todas Las Muestras				
<i>f'c</i>	180 Kg/cm ²	250 Kg/cm ²	310 Kg/cm ²	Unidades
Cemento	149	176	197	Kg/m ³
Arena	574	548	532	Kg/m ³
Piedra	400	800	400	Kg/m ³
Agua	59	61	56	Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia.

IV.1.4. ENSAYOS

IV.1.4.1. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO DE LOS CILINDROS.

Después de realizar el procedimiento contemplado en la Norma COVENIN 1681:1980 se obtuvieron los resultados señalados en las *tablas y Gráficas* mostradas a continuación. Los valores expresados corresponden a los usuales para probetas de concreto.

Tabla N°IV.15.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 180 Kg/cm² curadas en agua

f'c (kg/cm2)	180			
Cilindro	Altura (cm)	Tiempo del ultrasonido (µs)	Velocidad (m/s)	Edad de ensayo (días)
1	30	76,4	3.926,70	7
2	30	76,4	3.926,70	14
3	30	77,1	3.891,05	21
4	30	77,6	3.865,98	21
5	30	77,9	3.851,09	28
6	30	78,3	3.831,42	28
7	30	78,5	3.821,66	28

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.16.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 180 Kg/cm² curadas en agua

PROMEDIO (m/s)	DESVT. EST.	COEF. VAR.
3.873,51	42,79	1,10

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.17.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 180 Kg/cm² expuestas al aire

f'c (kg/cm2)	180			
Cilindro	Altura (cm)	Tiempo del ultrasonido (μs)	Velocidad (m/s)	Edad de ensayo (días)
1	30	75,30	3.984,06	7
2	30	76,30	3.931,85	14
3	30	76,10	3.942,18	21
4	30	76,80	3.906,25	21
5	30	78,30	3.831,42	28
6	30	78,90	3.802,28	28
7	30	78,30	3.831,42	28

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.18.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 180 Kg/cm² expuestas al aire

PROMEDIO (m/s)	DESVT. EST.	COEF. VAR.
3.889,92	68,49	1,76

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.19.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 250 Kg/cm² curadas en agua

f'c (kg/cm2)	250			
Cilindro	Altura (cm)	Tiempo del ultrasonido (μs)	Velocidad (m/s)	Edad de ensayo (días)
1	30	76,20	3.937,01	7
2	30	76,60	3.916,45	14
3	30	78,10	3.841,23	21
4	30	78,80	3.807,11	21
5	30	80,50	3.726,71	28
6	30	80,10	3.745,32	28
7	30	80,30	3.735,99	28

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.20.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 250 Kg/cm² curadas en agua

PROMEDIO (m/s)	DESVT. EST.	COEF. VAR.
3.815,69	86,43	2,27

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.21.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 250 Kg/cm² expuestas al aire

f'c (kg/cm2)	250			
Cilindro	Altura (cm)	Tiempo del ultrasonido (µs)	Velocidad (m/s)	Edad de ensayo (días)
1	30	74,50	4.026,85	7
2	30	75,60	3.968,25	14
3	30	76,30	3.931,85	21
4	30	76,60	3.916,45	21
5	30	79,10	3.792,67	28
6	30	78,90	3.802,28	28
7	30	79,10	3.792,67	28

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.22.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 250 Kg/cm² expuestas al aire

PROMEDIO (m/s)	DESVT. EST.	COEF. VAR.
3.890,14	94,82	2,44

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° IV.23.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de 310 Kg/cm² curadas en agua

f'c (kg/cm²)	310			
Cilindro	Altura (cm)	Tiempo del ultrasonido (μs)	Velocidad (m/s)	Edad de ensayo (días)
1	30	78,20	3.836,32	7
2	30	79,20	3.787,88	14
3	30	80,40	3.731,34	21
4	30	81,10	3.699,14	21
5	30	82,30	3.645,20	28
6	30	82,60	3.631,96	28
7	30	82,80	3.623,19	28

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° IV.24.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas de 310 Kg/cm² curadas en agua

PROMEDIO (m/s)	DESVT. EST.	COEF. VAR.
3.707,86	82,04	2,21

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°IV.25.- Velocidad de Pulso Ultrasónico en Probetas de
Kg/cm² expuestas al aire**

310

f'c (kg/cm²)	310			
Cilindro	Altura (cm)	Tiempo del ultrasonido (μs)	Velocidad (m/s)	Edad de ensayo (días)
1	30	76,80	3.906,25	7
2	30	77,50	3.870,97	14
3	30	78,30	3.831,42	21
4	30	78,40	3.826,53	21
5	30	79,46	3.775,48	28
6	30	79,51	3.773,11	28
7	30	79,65	3.766,48	28

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°IV.26.- Coeficiente de variación de pulso ultrasónico para probetas
de 310 Kg/cm² expuestas al aire**

PROMEDIO (m/s)	DESVT. EST.	COEF. VAR.
3.821,46	53,60	1,40

Fuente: Elaboración Propia.

IV.1.4.2. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE CONCRETO

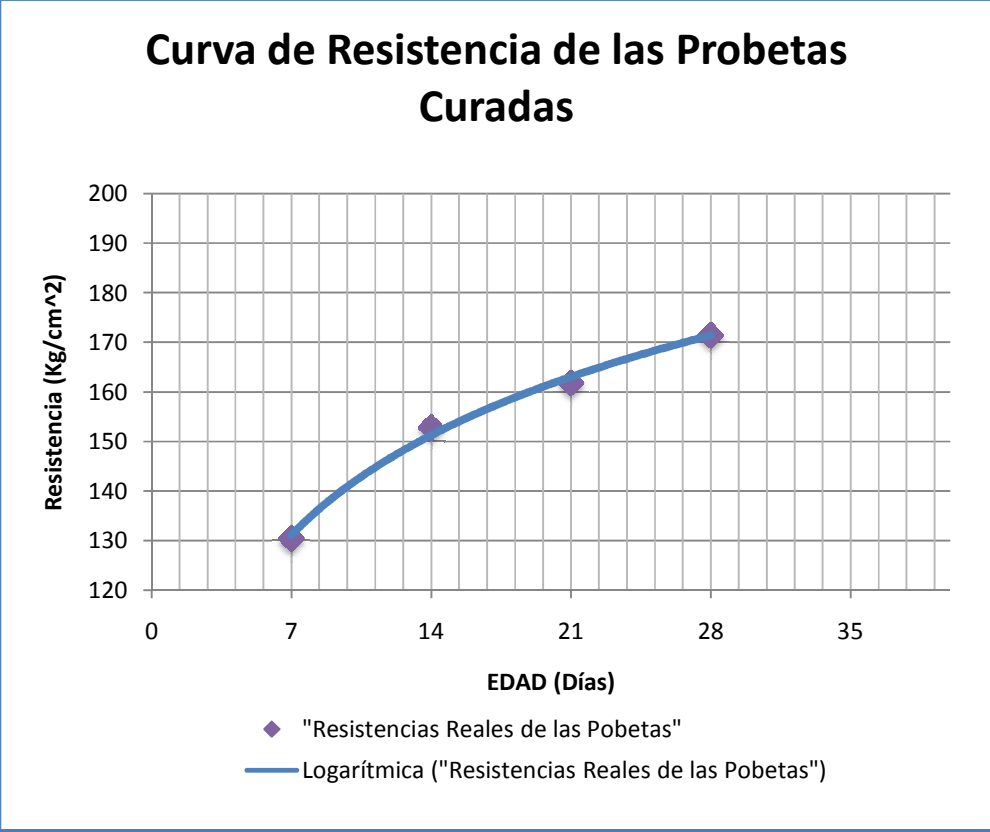
Los valores de resistencia obtenidos de los ensayos de compresión simple de los siete cilindros de concreto curados en agua, se observan en las *Tablas N° IV.15, N°IV.17 y N°IV.19* , éstos se utilizaron para confirmar la resistencia real en cada caso, además de seguir el cumplimiento de los criterios establecidos en la Norma COVENIN 338:1994. En las *Gráficas N°IV.3, N°IV.5 y N°IV.7* se muestra la resistencia real de las probetas ensayadas.

Por otra parte, los valores de resistencia obtenidos de los ensayos de compresión simple de los siete cilindros de concreto expuestos al aire, se observan en las *Tablas N° IV.16, N° IV.18 y N° IV.20* , éstos se utilizaron para confirmar la resistencia real en cada caso, además de seguir el cumplimiento de los criterios establecidos en la Norma COVENIN 338:1994. En las *Gráficas N°IV.4, N°IV.6 y N°IV.8* se muestra la resistencia real de las probetas ensayadas.

Tabla N°IV.27.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 180 Kg/cm² curadas enagua

PROBETA	DIMENSIONES		PROMEDIO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (Kg)	CARGA (kgf)	EDAD DE ENSAYO	ESFUERZO (kg/cm ²)
	DIÁMETROS (cm)							
1	Abajo	15,05	15,01	30,26	12,6	23100	7	130,49
	Medio	15,05						
	Arriba	14,94						
2	Abajo	14,92	14,97	30,12	12,5	26900	14	152,90
	Medio	14,98						
	Arriba	15						
3	Abajo	14,9	14,99	30,1	12,2	29400	21	166,59
	Medio	14,98						
	Arriba	15,09						
4	Abajo	15,18	15,28	31,1	12,2	28800	21	157,16
	Medio	15,27						
	Arriba	15,37						
5	Abajo	14,97	14,99	32,1	12,2	29200	28	165,46
	Medio	15,02						
	Arriba	14,98						
6	Abajo	15	15,00	33,1	12,2	30900	28	174,86
	Medio	15						
	Arriba	15						
7	Abajo	14,99	14,98	34,1	12,2	30700	28	174,19
	Medio	14,98						
	Arriba	14,97						

Fuente: Elaboración Propia.



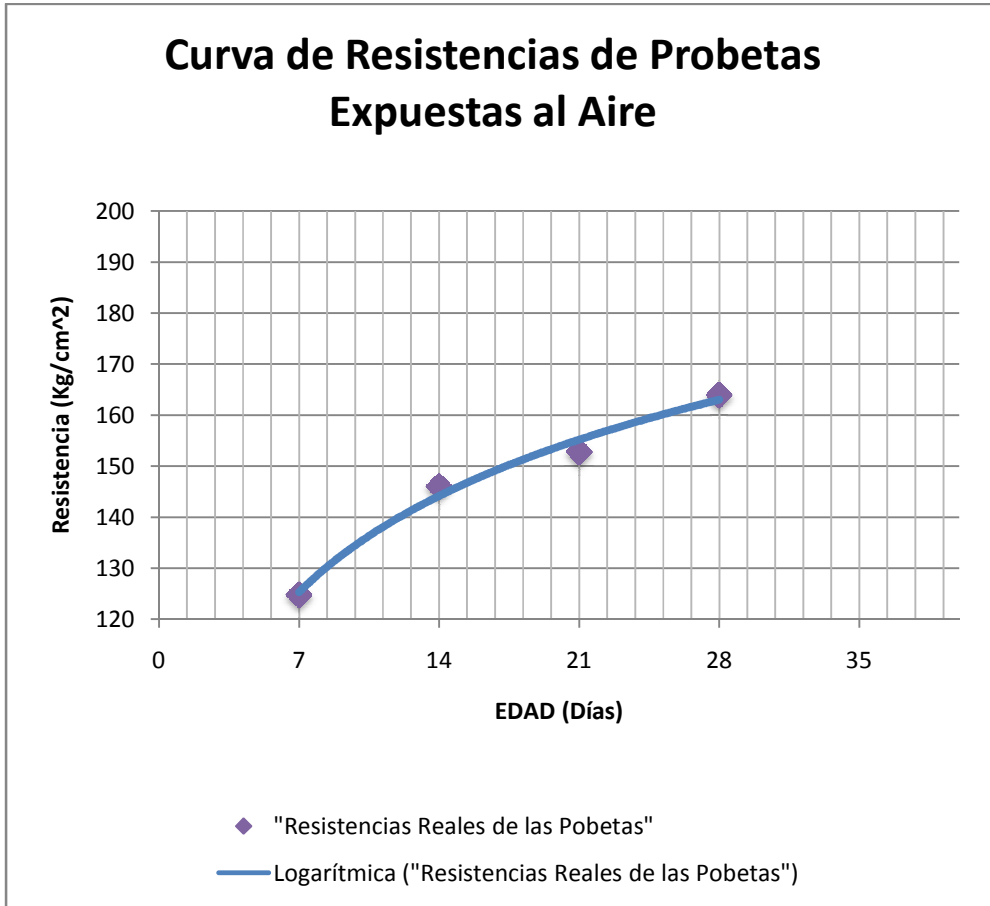
Gráfica N°IV.3.- Resistencia Real de Probetas de 180 Kg/cm² curadas en agua

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.28.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 180 Kg/cm² expuestas al aire

PROBETA	DIMENSIONES			PESO (Kg)	CARGA (kgf)	EDAD DE ENSAYO	ESFUERZO (kg/cm ²)	
	DIÁMETROS (cm)	PROMEDIO (cm)	ALTURA (cm)					
1	Abajo	15,05	15,01	30,26	12,6	22100	7	124,84
	Medio	15,05						
	Arriba	14,94						
2	Abajo	14,92	14,97	30,12	12,5	25700	14	146,08
	Medio	14,98						
	Arriba	15						
3	Abajo	14,89	14,92	30,1	12,2	26500	21	151,50
	Medio	14,95						
	Arriba	14,93						
4	Abajo	14,99	14,99	31,1	12,2	27200	21	154,19
	Medio	14,97						
	Arriba	15						
5	Abajo	15,01	15,00	32,1	12,2	29200	28	165,16
	Medio	15,02						
	Arriba	14,98						
6	Abajo	14,98	14,96	33,1	12,2	27800	28	158,16
	Medio	14,96						
	Arriba	14,94						
7	Abajo	14,99	14,98	34,1	12,2	29700	28	168,52
	Medio	14,98						
	Arriba	14,97						

Fuente: Elaboración Propia.



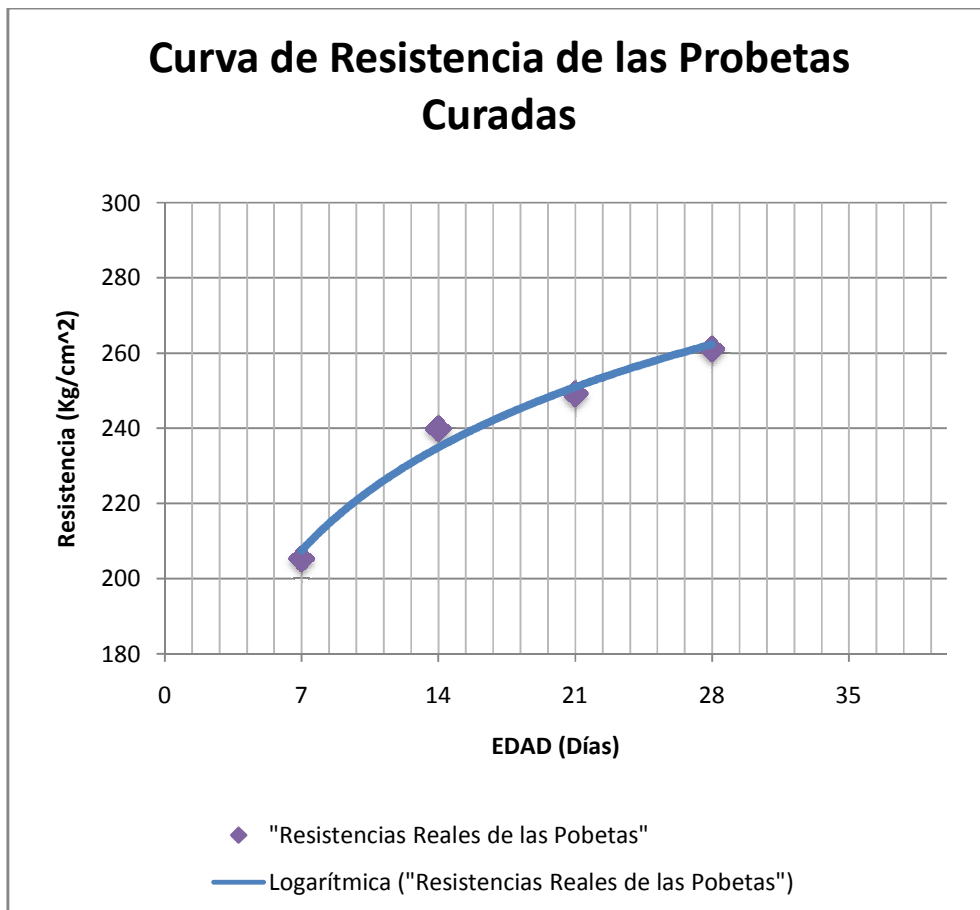
Gráfica N°IV.4.- Resistencia Real de Probetas de 180 Kg/cm² expuestas al air

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.29.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 250 Kg/cm² curadas en agua

PROBETA	DIMENSIONES			PESO (Kg)	CARGA (kgf)	EDAD DE ENSAYO	ESFUERZO (kg/cm ²)	
	DIÁMETROS (cm)		PROMEDIO (cm)					ALTURA (cm)
1	Abajo	14,91	14,90	30,26	12,6	35800	7	205,31
	Medio	14,85						
	Arriba	14,94						
2	Abajo	14,95	14,95	30,12	12,5	42100	14	239,94
	Medio	14,97						
	Arriba	14,92						
3	Abajo	14,97	14,97	30,1	12,2	44000	21	250,10
	Medio	14,98						
	Arriba	14,95						
4	Abajo	15,08	14,97	31,1	12,2	43700	21	248,39
	Medio	14,95						
	Arriba	14,87						
5	Abajo	15,16	14,98	32,1	12,2	46900	28	266,11
	Medio	14,95						
	Arriba	14,83						
6	Abajo	14,91	15,00	33,1	12,2	45400	28	256,91
	Medio	14,9						
	Arriba	14,87						
7	Abajo	14,87	14,98	34,1	12,2	45900	28	260,43
	Medio	14,86						
	Arriba	14,87						

Fuente: Elaboración Propia.



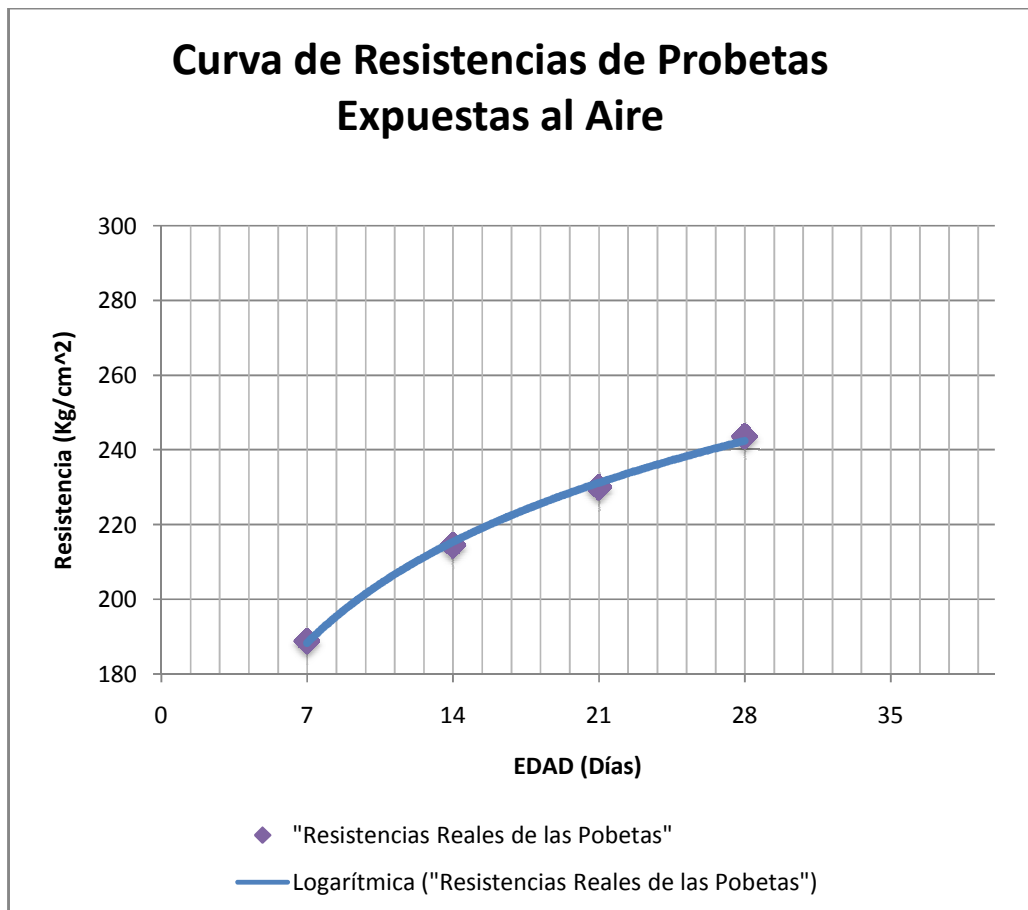
Gráfica N°IV.5.- Resistencia Real de Probetas de 250 Kg/cm² curadas en agua

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°IV.30.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de
250 Kg/cm² expuestas al aire**

PROBETA		DIMENSIONES			PESO (Kg)	CARGA (kgf)	EDAD DE ENSAYO	ESFUERZO (kg/cm ²)
		DIÁMETROS (cm)	PROMEDIO (cm)	ALTURA (cm)				
1	Abajo	14,83	14,80	30,26	12,6	32500	7	188,92
	Medio	14,8						
	Arriba	14,77						
2	Abajo	15,07	15,00	30,12	12,5	37900	14	214,57
	Medio	15						
	Arriba	14,92						
3	Abajo	14,94	14,93	30,1	12,2	40800	21	233,05
	Medio	14,93						
	Arriba	14,92						
4	Abajo	14,94	14,90	31,1	12,2	39600	21	227,11
	Medio	14,91						
	Arriba	14,85						
5	Abajo	15	14,97	32,1	12,2	42300	28	240,22
	Medio	14,99						
	Arriba	14,93						
6	Abajo	14,94	14,87	33,1	12,2	42700	28	245,88
	Medio	14,88						
	Arriba	14,79						
7	Abajo	14,98	14,98	34,1	12,2	43200	28	245,12
	Medio	14,99						
	Arriba	14,96						

Fuente: Elaboración Propia.



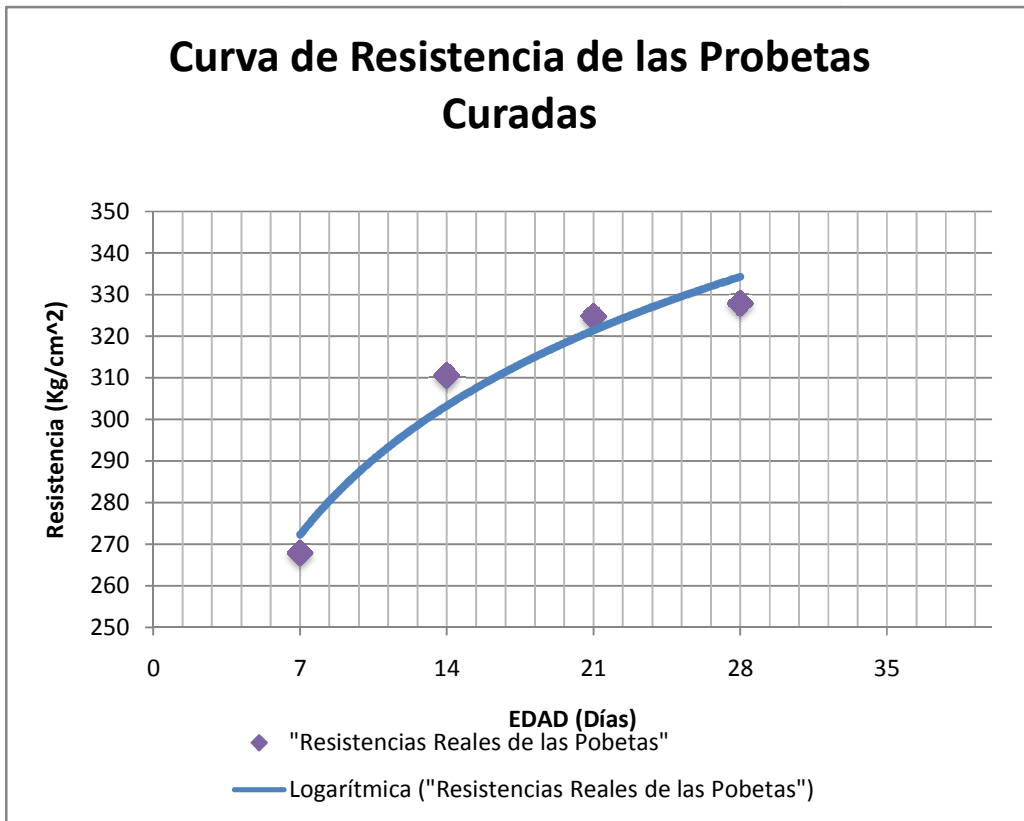
**Gráfica N°IV.6.- Resistencia Real de Probetas de 250 Kg/cm² expuestas al
aire**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°IV.31.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de
310 Kg/cm² curadas en agua**

PROBETA	DIMENSIONES			PESO (Kg)	CARGA (kgf)	EDAD DE ENSAYO	ESFUERZO (kg/cm ²)	
	DIÁMETROS (cm)		PROMEDIO (cm)					ALTURA (cm)
1	Abajo	14,94	14,91	30,26	12,6	46800	7	267,92
	Medio	14,95						
	Arriba	14,85						
2	Abajo	15,09	14,95	30,12	12,5	54500	14	310,61
	Medio	14,9						
	Arriba	14,85						
3	Abajo	14,94	14,92	30,1	12,2	56800	21	324,73
	Medio	14,94						
	Arriba	14,89						
4	Abajo	15	14,97	31,1	12,2	57200	21	324,98
	Medio	14,96						
	Arriba	14,95						
5	Abajo	15,15	14,99	32,1	12,2	57900	28	328,23
	Medio	14,94						
	Arriba	14,87						
6	Abajo	14,98	15,00	33,1	12,2	57500	28	325,38
	Medio	14,89						
	Arriba	14,85						
7	Abajo	14,85	14,98	34,1	12,2	58200	28	330,22
	Medio	14,91						
	Arriba	14,92						

Fuente: Elaboración Propia.



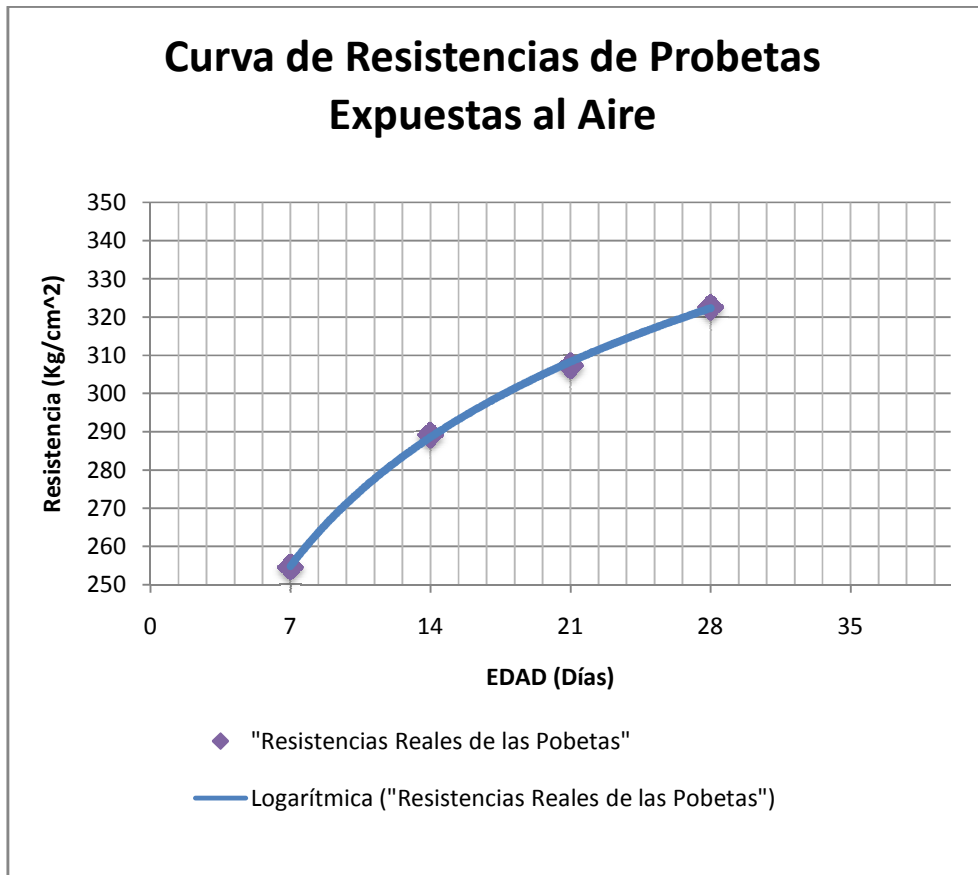
Gráfica N°IV.7.- Resistencia Real de Probetas de 310 Kg/cm² curadas en agua

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.32.- Resistencia a Compresión Simple de probetas de 310 Kg/cm² expuestas al aire

PROBETA	DIMENSIONES			PESO (Kg)	CARGA (kgf)	EDAD DE ENSAYO	ESFUERZO (kg/cm ²)	
		DIÁMETROS (cm)	PROMEDIO (cm)					ALTURA (cm)
1	Abajo	15,04	14,92	30,26	12,6	44500	7	254,64
	Medio	14,82						
	Arriba	14,89						
2	Abajo	14,91	14,88	30,12	12,5	50300	14	289,25
	Medio	14,95						
	Arriba	14,78						
3	Abajo	14,87	14,90	30,1	12,2	53200	21	304,97
	Medio	14,9						
	Arriba	14,94						
4	Abajo	14,99	14,94	31,1	12,2	54300	21	309,75
	Medio	14,91						
	Arriba	14,92						
5	Abajo	14,96	14,92	32,1	12,2	56800	28	325,02
	Medio	14,94						
	Arriba	14,85						
6	Abajo	14,92	15,0033	33,1	12,2	56400	28	319,02
	Medio	15,04						
	Arriba	15,05						
7	Abajo	14,91	14,98	34,1	12,2	57100	28	323,98
	Medio	14,95						
	Arriba	14,94						

Fuente: Elaboración Propia.



**Gráfica N°IV.8.- Resistencia Real de Probetas de 310 Kg/cm² expuestas al
aire**

Fuente: Elaboración Propia.

IV.1.4.3. TRACCIÓN DE LAS BARRAS ROSCADAS

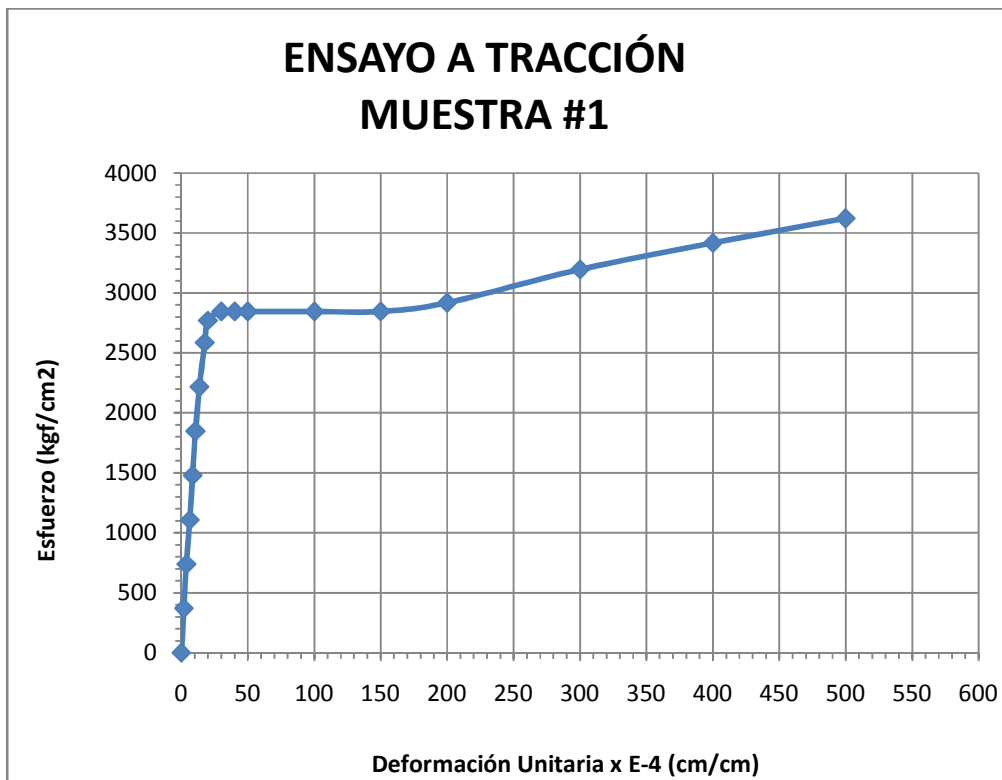
A continuación se presentan los resultados de esfuerzo obtenidos a partir del ensayo de tracción de las cinco barras roscadas, de diámetro $\frac{3}{4}$ ". Este ensayo permite conocer el límite elástico de la barra a utilizar para la construcción de los anclajes. Seguidamente se observa su respectiva gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria.

Tabla N°IV.33.- Ensayo a tracción de barra $\frac{3}{4}$ "

Muestra 1

CARGA (Kg)	DEFORM. (cm)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEF. UNT.
0	0	0	0
200	0,9	370	1,8
400	1,9	739	3,8
600	3,1	1109	6,2
800	4,2	1479	8,4
1000	5,3	1848	10,6
1200	6,8	2218	13,6
1400	8,8	2588	17,6
1500	10	2773	20
1540	15	2847	30
1540	20	2847	40
1540	25	2847	50
1540	50	2847	100
1540	75	2847	150
1580	100	2921	200
1730	150	3198	300
1850	200	3420	400
1960	250	3623	500

Fuente: Elaboración Propia.



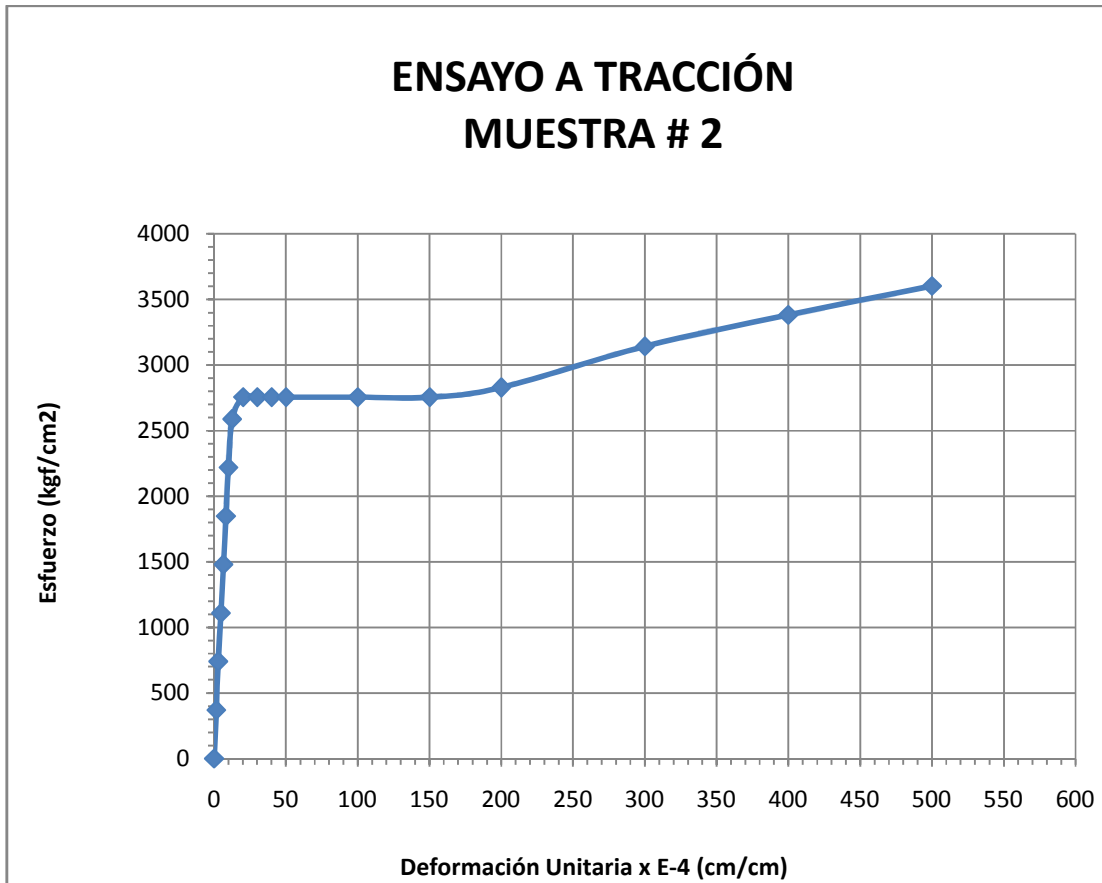
**Gráfica N°IV.9.- Esfuerzo Vs. Deformación unitaria
Muestra 1**

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° IV.34.- Ensayo a tracción de barra ¾"

Muestra 2

CARGA (Kg)	DEFORM. (cm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEF. UNT.
0	0	0	0
200	0,7	370	1,4
400	1,4	739	2,8
600	2,3	1109	4,6
800	3,2	1479	6,4
1000	4,1	1848	8,2
1200	4,9	2218	9,8
1400	6,2	2588	12,4
1490	10	2754	20
1490	15	2754	30
1490	20	2754	40
1490	25	2754	50
1490	50	2754	100
1490	75	2754	150
1530	100	2828	200
1700	150	3142	300
1830	200	3383	400
1950	250	3604	500



**Gráfica N°IV.10.- Esfuerzo Vs. Deformación unitaria
Muestra 2**

Fuente: Elaboración Propia.

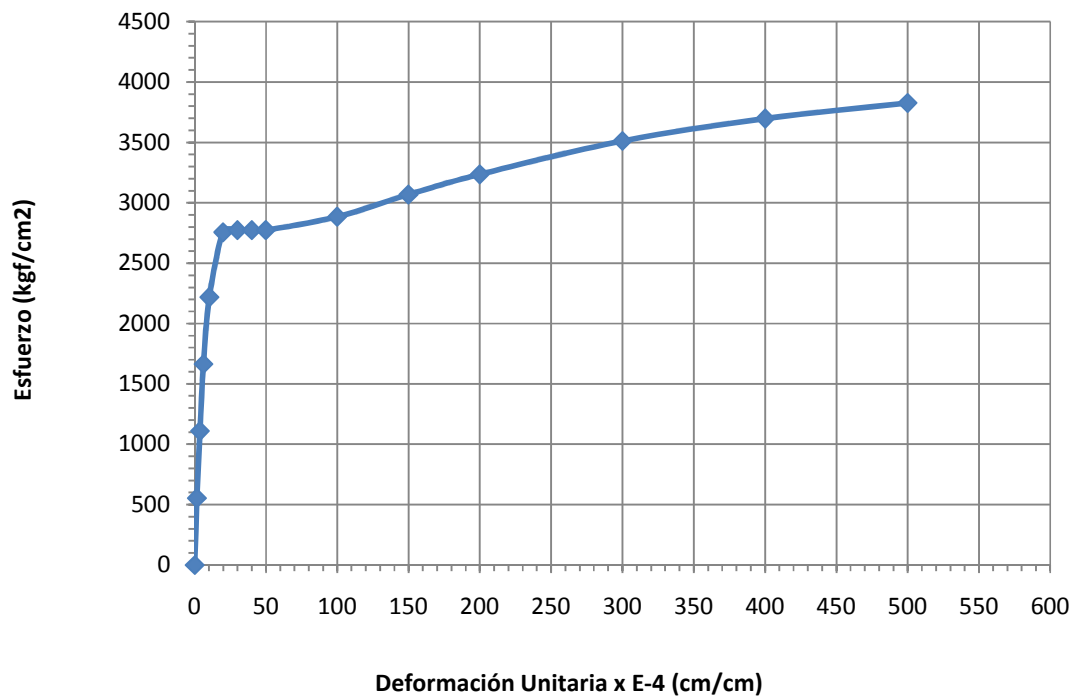
Tabla N°IV.35.- Ensayo a tracción de barra ¾"

Muestra 3

CARGA (Kg)	DEFORM. (cm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEF. UNT.
0	0	0	0
300	0,8	555	1,6
600	1,9	1109	3,8
900	3,1	1664	6,2
1200	5,2	2218	10,4
1490	10	2754	20
1500	15	2773	30
1500	20	2773	40
1500	25	2773	50
1560	50	2884	100
1660	75	3068	150
1750	100	3235	200
1900	150	3512	300
2000	200	3697	400
2070	250	3826	500

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO A TRACCIÓN MUESTRA # 3



**Gráfica N°IV.11.- Esfuerzo Vs. Deformación unitaria
Muestra 3**

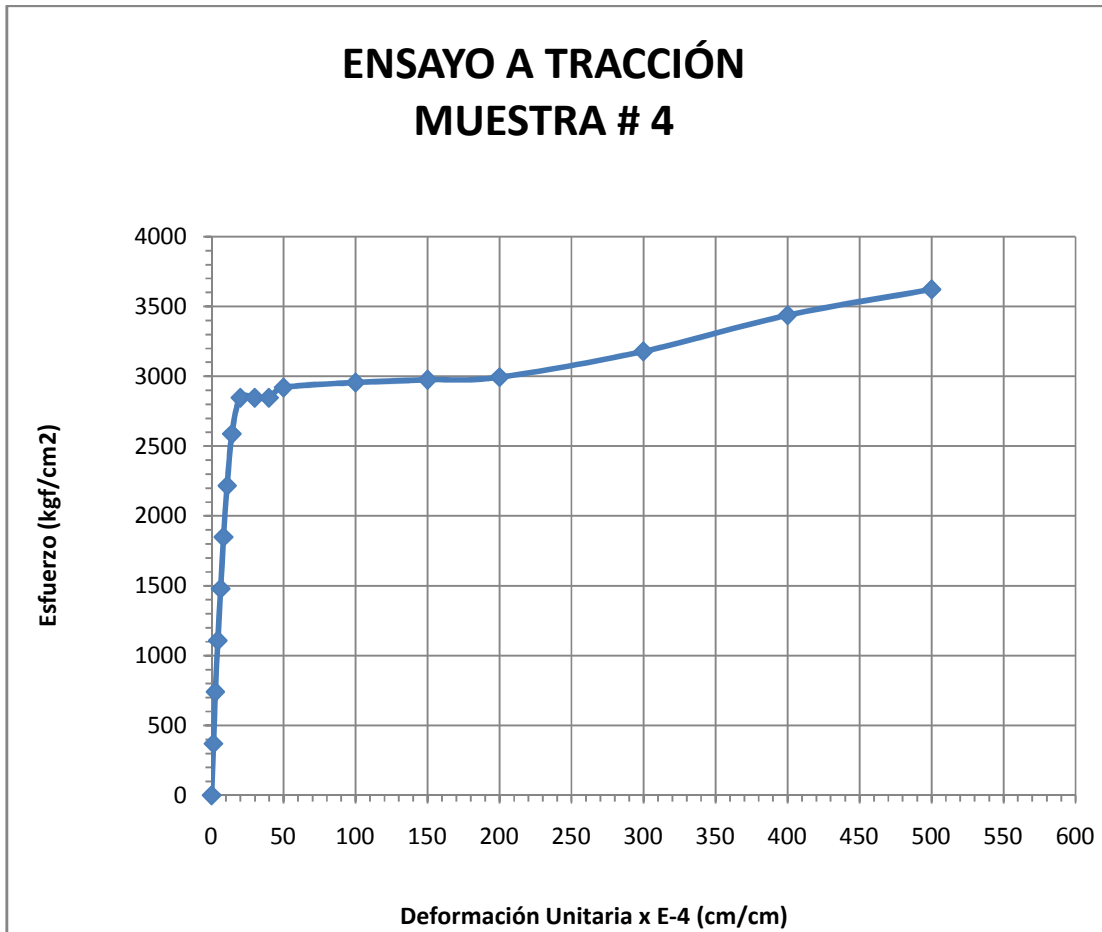
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.36.- Ensayo a tracción de barra ¾”

Muestra 4

CARGA (Kg)	DEFORM. (cm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEF. UNT.
0	0	0	0
200	0,7	370	1,4
400	1,3	739	2,6
600	2,2	1109	4,4
800	3,2	1480	6,4
1000	4,2	1850	8,4
1200	5,4	2218	10,8
1400	7,1	2588	14,2
1540	10	2847	20
1540	15	2847	30
1540	20	2847	40
1580	25	2921	50
1600	50	2957	100
1610	75	2976	150
1620	100	2994	200
1720	150	3179	300
1860	200	3438	400
1960	250	3623	500

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica N°IV.12.- Esfuerzo Vs. Deformación unitaria

Muestra 4

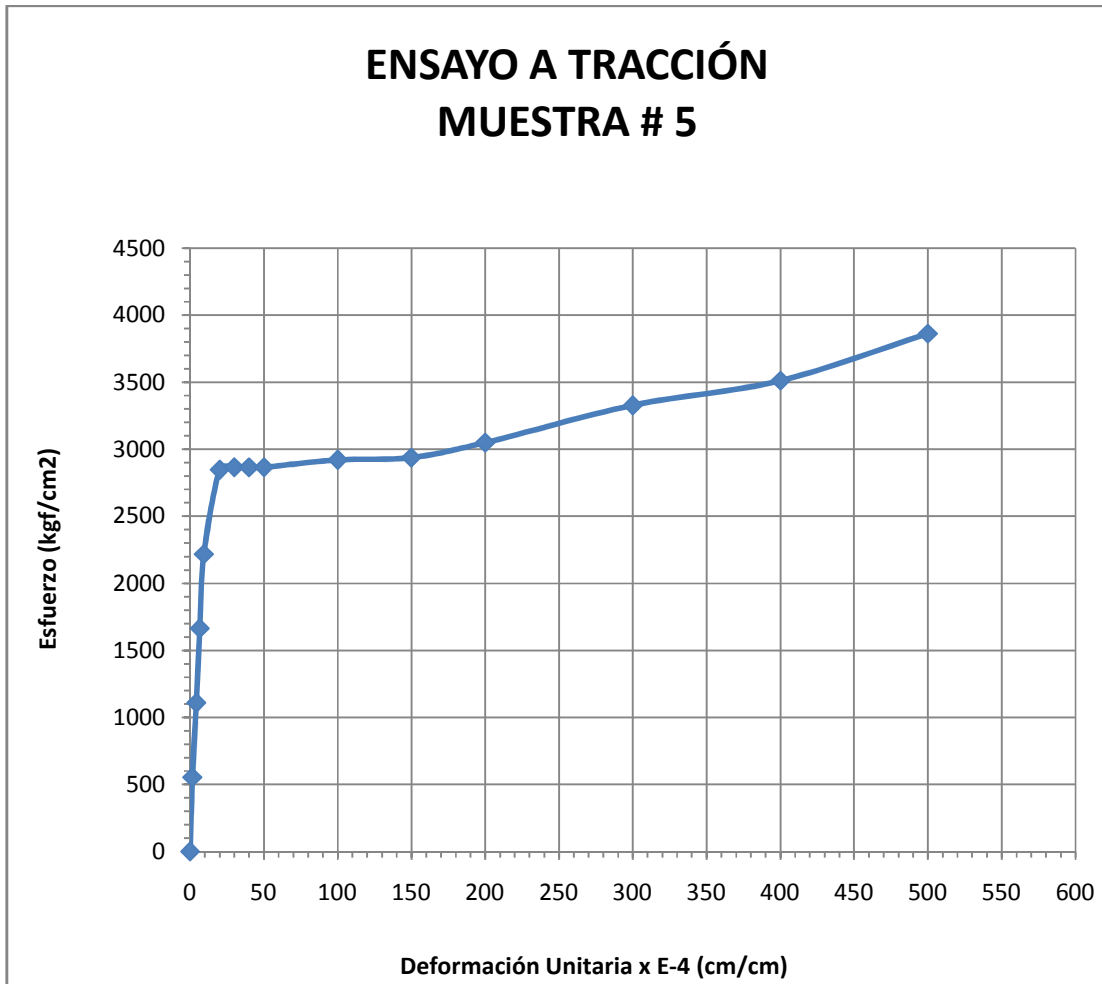
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.37.- Ensayo a tracción de barra ¾”

Muestra 5

CARGA (Kg)	DEFORM. (cm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEF. UNT.
0	0	0	0
300	0,8	555	1,6
600	2,1	1109	4,2
900	3,3	1664	6,6
1200	4,7	2218	9,4
1540	10	2847	20
1550	15	2865	30
1550	20	2865	40
1550	25	2865	50
1580	50	2921	100
1590	75	2939	150
1650	100	3050	200
1800	150	3327	300
1900	200	3512	400
2090	250	3863	500

Fuente: Elaboración Propia.



**Gráfica N°IV.13.- Esfuerzo Vs. Deformación unitaria
Muestra 5**

Fuente: Elaboración Propia.

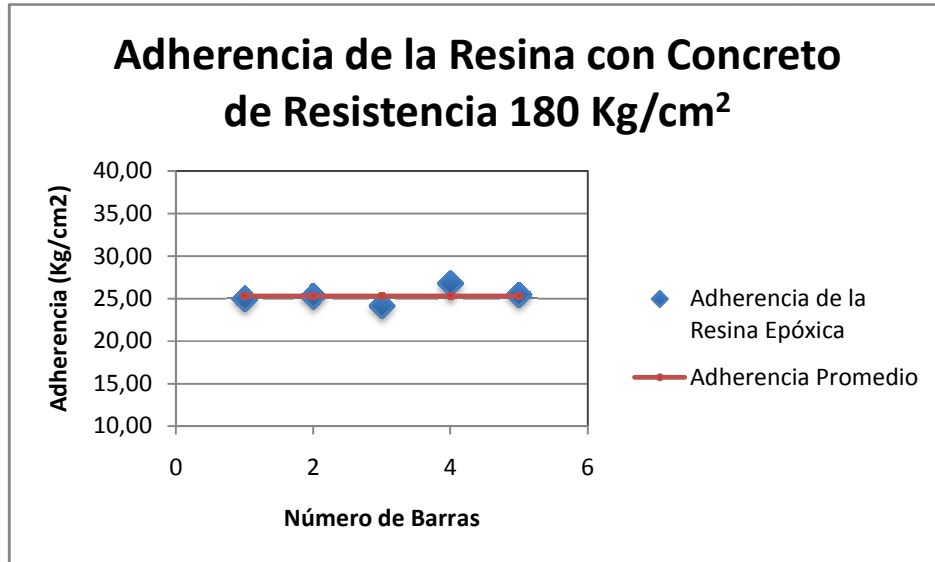
IV.1.4.4. ADHERENCIA DE LA RESINA EPOXICA

En las *tablas N° IV.38, N° IV.39 y N° IV.40*, se observan los resultados de adherencia de la resina epóxica y su modo de falla al proporcionarle la carga máxima. Se realizaron sus respectivas gráficas de adherencias promedio, y a modo ilustrativo se presenta una gráfica comparativa entre los resultados de adherencia de la resina vs las resistencias del concreto.

Tabla N°IV.38.- Resistencia de adherencia de la resina epóxica y su modo de falla para concreto de 180 kgf/cm²

Muestra	Carga Máxima (Kgf)	Resistencia de Adherencia (Kg/cm ²)	f'c (kgf/cm ²)	Modo de Falla
1	399	24,94	180	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
2	404	25,25	180	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
3	386	24,13	180	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
4	428	26,75	180	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
5	407	25,44	180	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe

Fuente: Elaboración Propia.



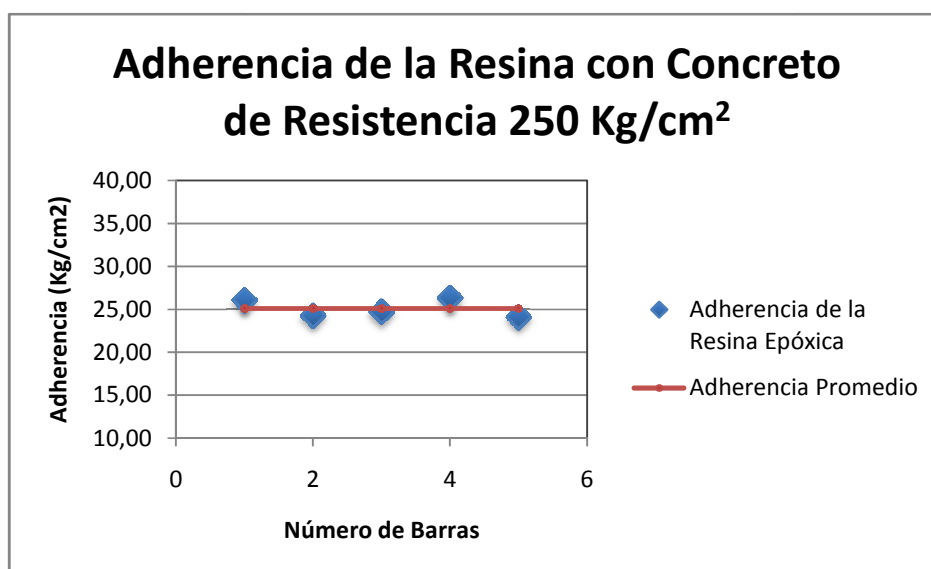
Gráfica N°IV.13.- Adherencia de la resina epoxica con concreto de 180 kgf/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.39.- Resistencia de adherencia de la resina epóxica y su modo de falla para concreto de 250 kgf/cm²

Muestra	Carga Máxima (Kgf)	Resistencia de Adherencia (Kg/cm ²)	f'c (kgf/cm ²)	Modo de Falla
1	417	26,06	250	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
2	388	24,25	250	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
3	395	24,69	250	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
4	421	26,31	250	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe
5	385	24,06	250	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe

Fuente: Elaboración Propia.



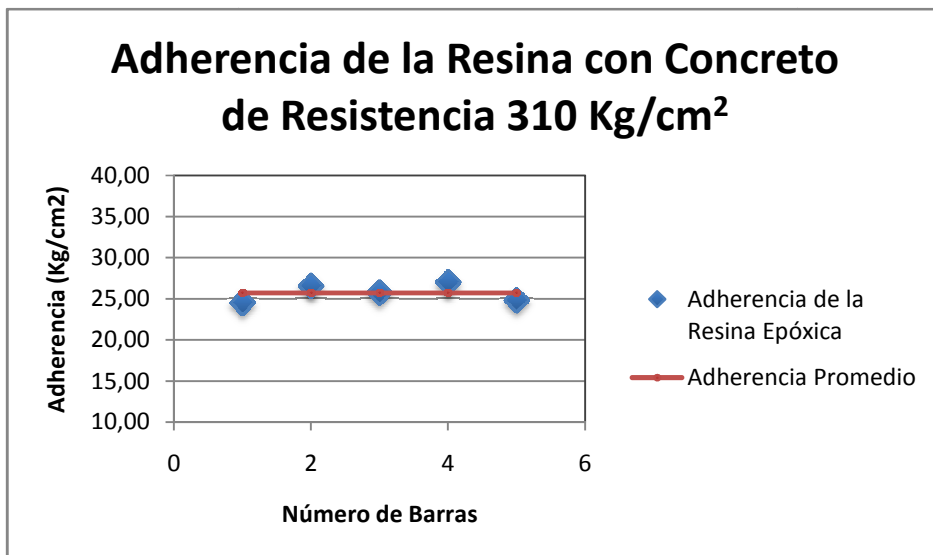
Gráfica N°IV.14.- Adherencia de la resina epoxica con concreto de 250 kgf/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°IV.40.- Resistencia de adherencia de la resina epóxica y su modo de falla para concreto de 310 kgf/cm²

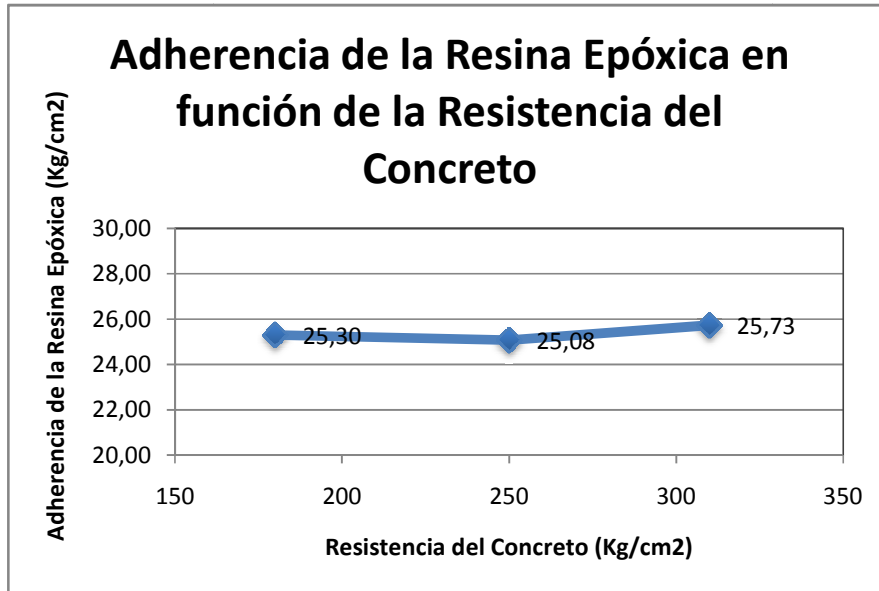
Muestra	Carga Máxima (Kgf)	Resistencia de Adherencia (Kg/cm ²)	f'c (kgf/cm ²)	Modo de Falla	
1	392	24,50	310	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe	
2	425	26,56	310	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe	
3	412	25,75	310	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe	
4	432	27,00	310	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe	
5	397	24,81	310	La interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto se rompe	

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica N°IV.15.- Adherencia de la resina epoxica con concreto de 310kgf/cm²

Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica N°IV.16.- Adherencia de la resina epoxica en función de la resistencia del concreto



Imagen N°VI.1 .- Modo de falla observado

Fuente: Elaboración propia

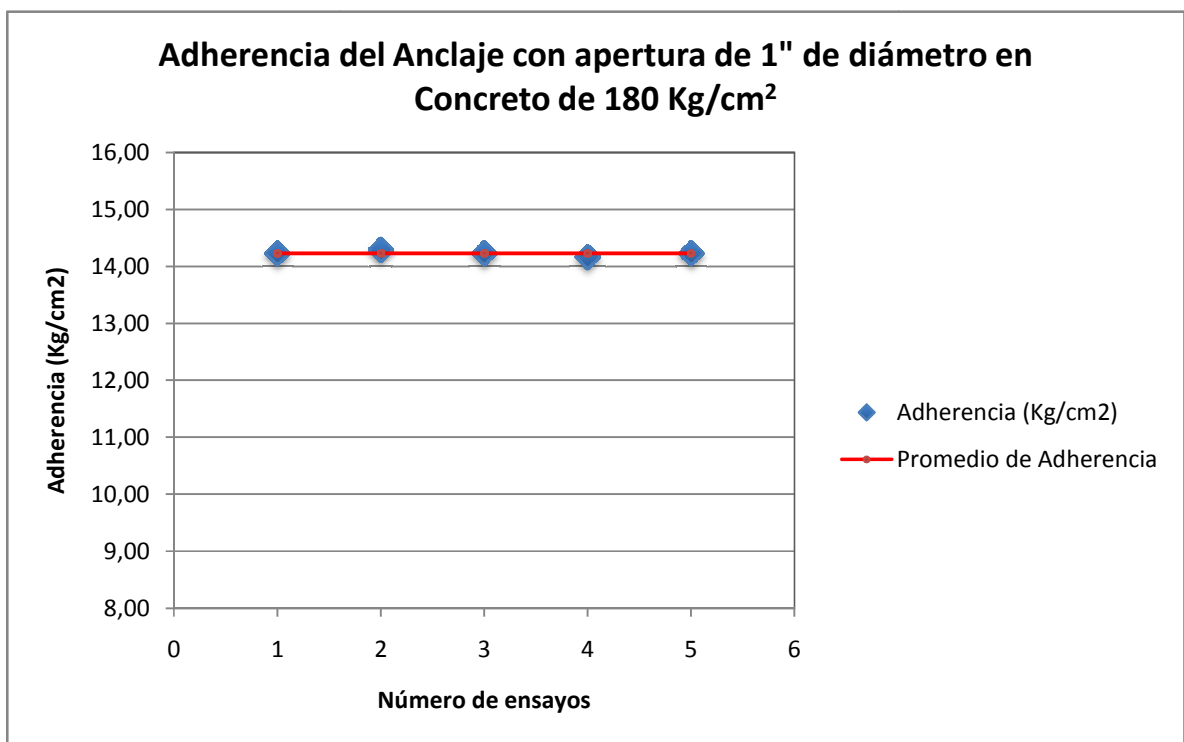
IV.1.4.5. ADHERENCIA DEL ANCLAJE

En las tablas IV.41, IV.42, IV.43, IV.44, IV.45, IV.46, IV.47, IV.48, IV.49, se presenta la adherencia determinada para los anclajes de barra roscada ensayados, según su diámetro de apertura de orificio y la resistencia del concreto utilizado.

Tabla IV.41. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	180	1135	14,23	Deslizó la barra
2	19	180	1140	14,29	Deslizó la barra
3	19	180	1135	14,23	Deslizó la barra
4	19	180	1130	14,17	Deslizó la barra
5	19	180	1135	14,23	Deslizó la barra
Promedio				14,23	

Fuente: Elaboración Propia.



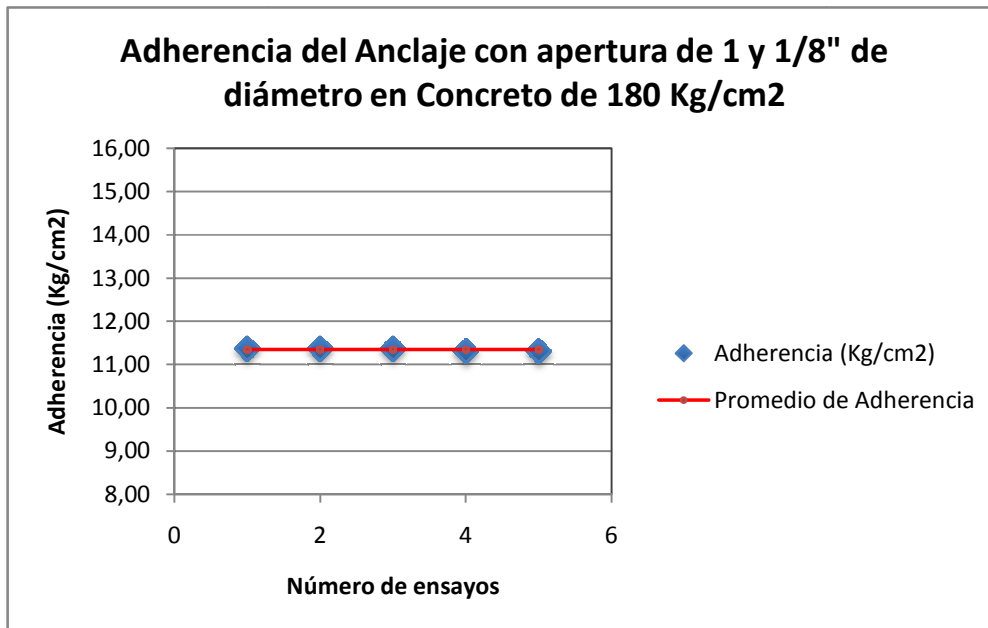
Gráfica IV.17- Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.42. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	180	1020	11,37	Deslizó la barra
2	19	180	1020	11,37	Deslizó la barra
3	19	180	1020	11,37	Deslizó la barra
4	19	180	1015	11,31	Deslizó la barra
5	19	180	1015	11,31	Deslizó la barra
Promedio				11,35	

Fuente: Elaboración Propia.



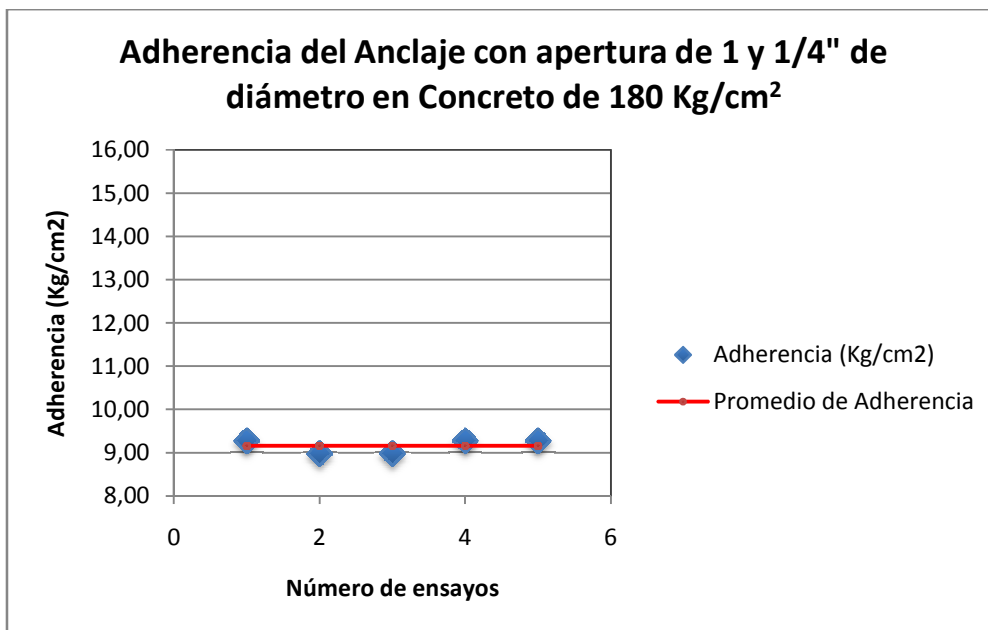
Gráfica IV.18. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.43. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	180	925	9,28	Deslizó la barra
2	19	180	895	8,98	Deslizó la barra
3	19	180	895	8,98	Deslizó la barra
4	19	180	925	9,28	Deslizó la barra
5	19	180	925	9,28	Deslizó la barra
Promedio				9,16	

Fuente: Elaboración Propia.



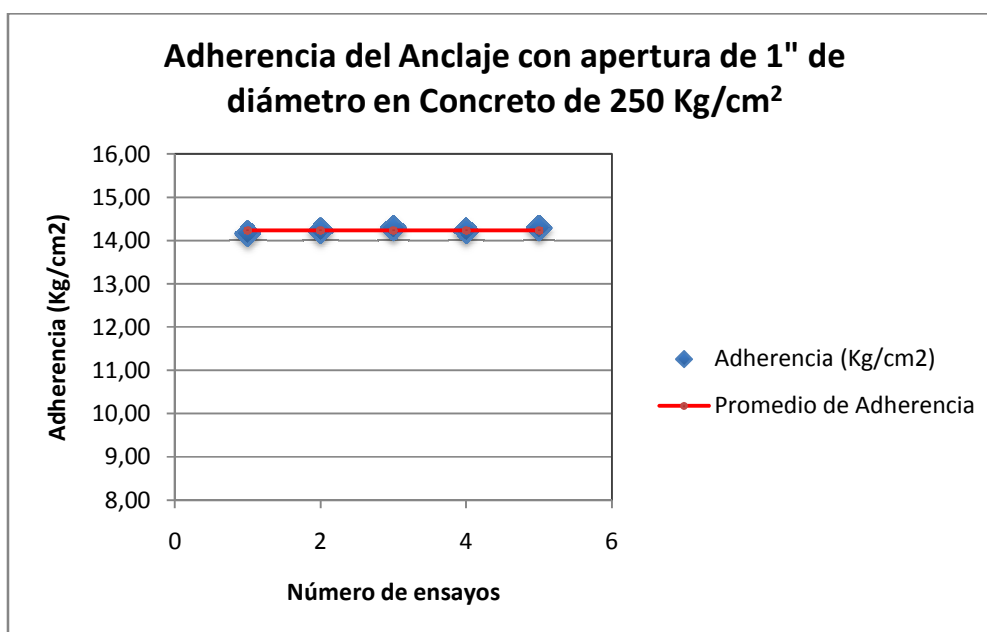
Gráfica IV.19. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.44. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	250	1130	14,17	Deslizó la barra
2	19	250	1135	14,23	Deslizó la barra
3	19	250	1140	14,29	Deslizó la barra
4	19	250	1135	14,23	Deslizó la barra
5	19	250	1140	14,29	Deslizó la barra
Promedio				14,24	

Fuente: Elaboración Propia.



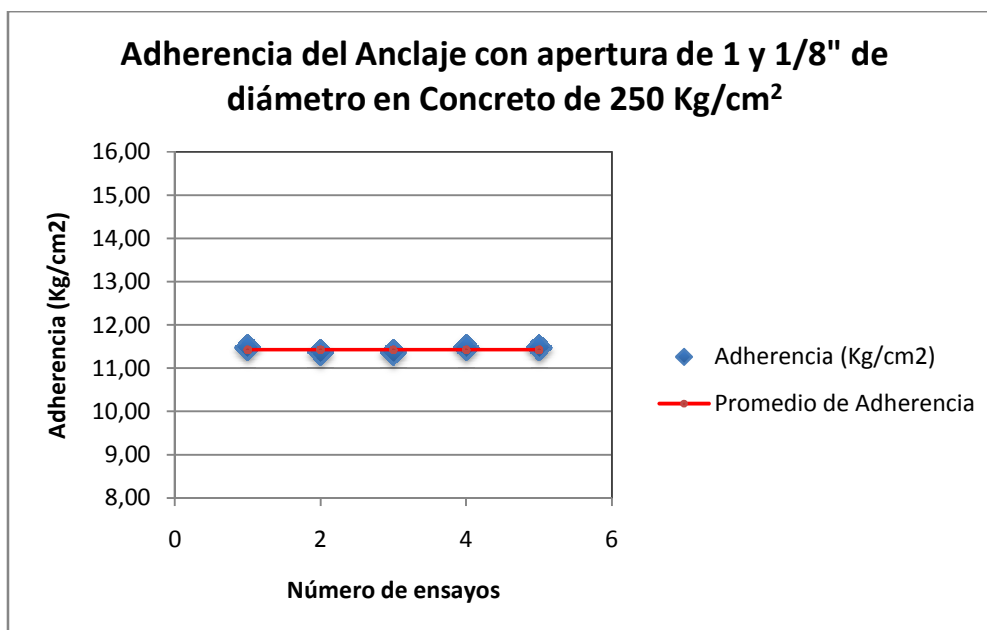
Gráfica IV.20. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.45. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg&cm2)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m2)	OBSERVACIÓN
1	19	250	1030	11,48	Deslizó la barra
2	19	250	1020	11,37	Deslizó la barra
3	19	250	1020	11,37	Deslizó la barra
4	19	250	1030	11,48	Deslizó la barra
5	19	250	1030	11,48	Deslizó la barra
Promedio				11,43	

Fuente: Elaboración Propia.



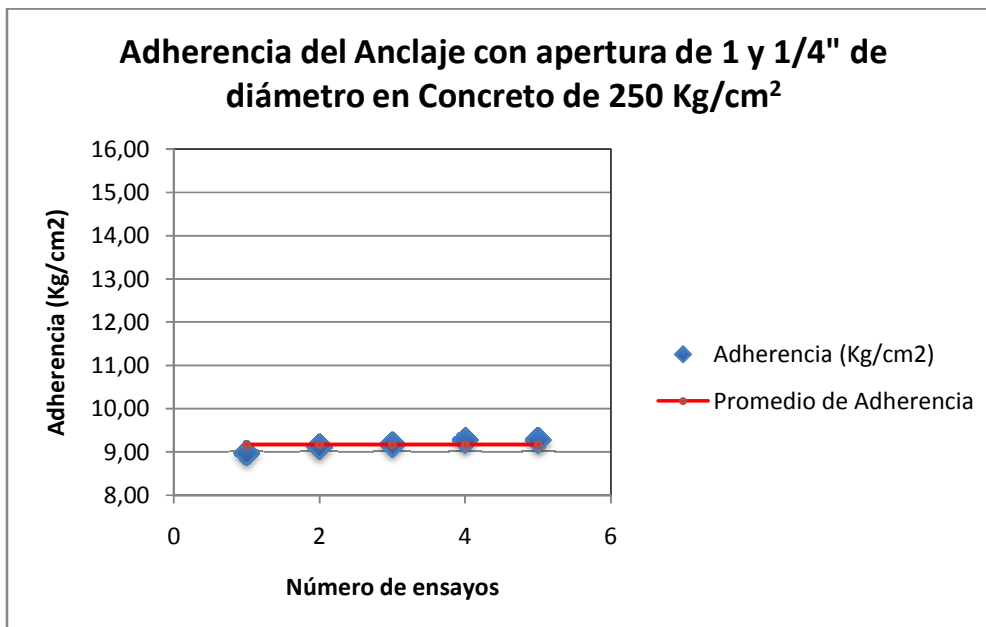
Gráfica IV.21. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.46. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	250	895	8,98	Deslizó la barra
2	19	250	910	9,13	Deslizó la barra
3	19	250	915	9,18	Deslizó la barra
4	19	250	925	9,28	Deslizó la barra
5	19	250	925	9,28	Deslizó la barra
Promedio				9,17	

Fuente: Elaboración Propia.



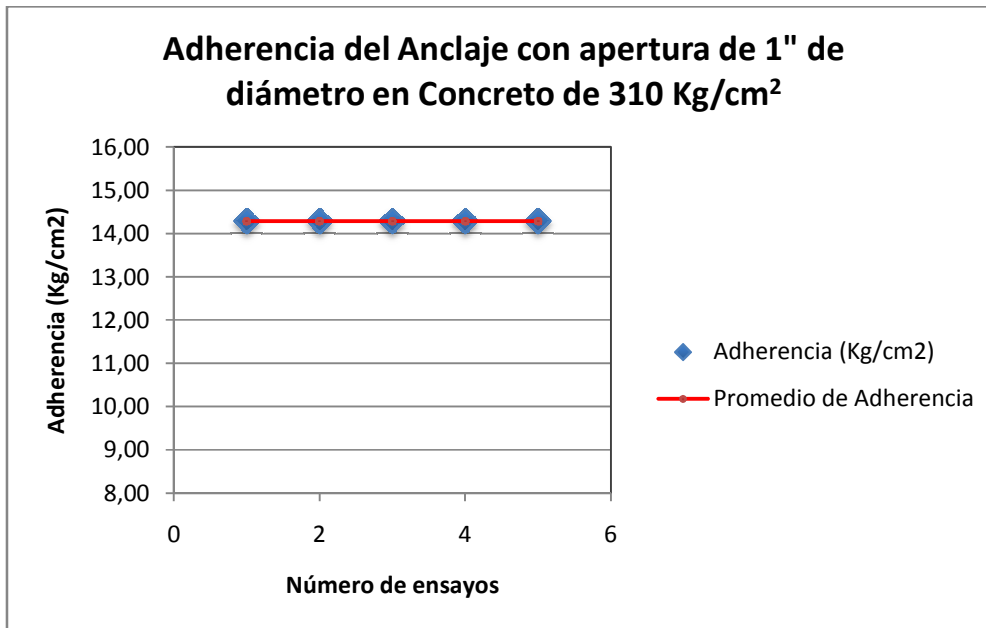
Gráfica IV.22. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.47. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	310	1140	14,29	Deslizó la barra
2	19	310	1140	14,29	Deslizó la barra
3	19	310	1140	14,29	Deslizó la barra
4	19	310	1140	14,29	Deslizó la barra
5	19	310	1140	14,29	Deslizó la barra
Promedio				14,29	

Fuente: Elaboración Propia.



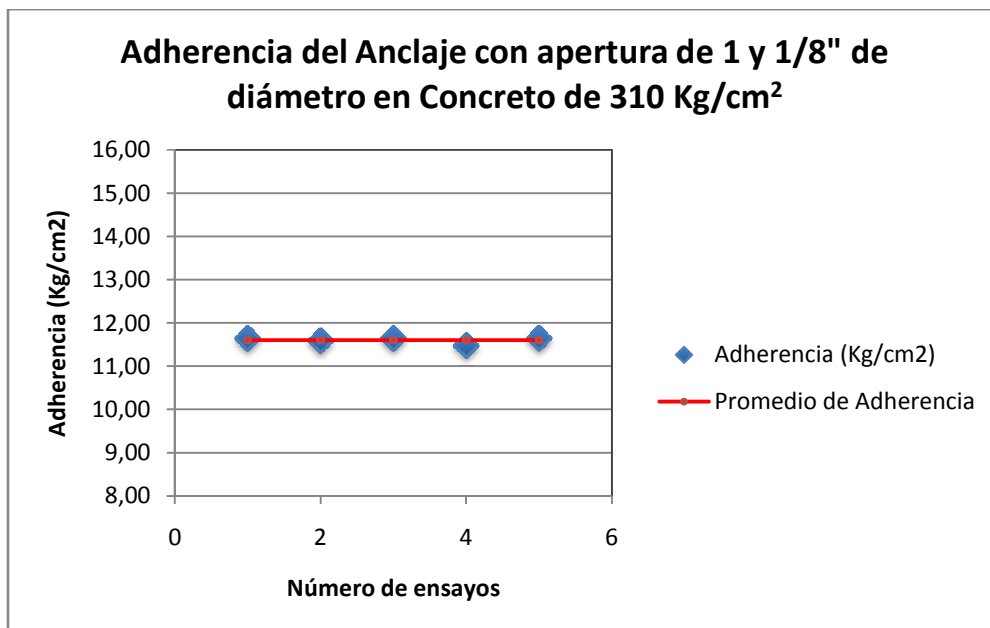
Gráfica IV.23. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.48. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	310	1045	11,65	Deslizó la barra
2	19	310	1040	11,59	Deslizó la barra
3	19	310	1045	11,65	Deslizó la barra
4	19	310	1030	11,48	Deslizó la barra
5	19	310	1045	11,65	Deslizó la barra
Promedio				11,60	

Fuente: Elaboración Propia.



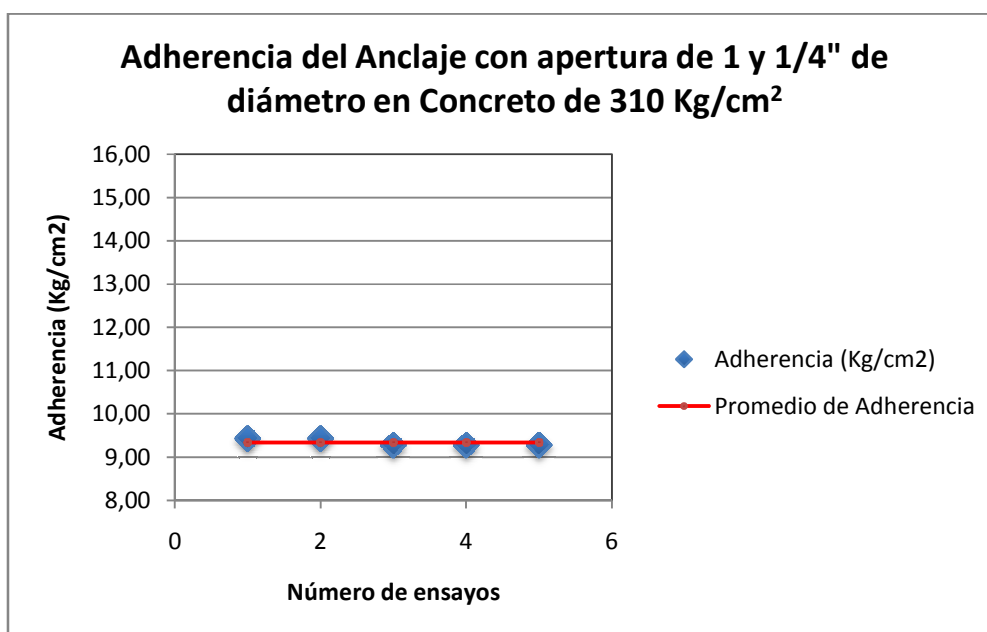
Gráfica IV.24. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/8" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.49. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	19	310	940	9,43	Deslizó la barra
2	19	310	940	9,43	Deslizó la barra
3	19	310	925	9,28	Deslizó la barra
4	19	310	925	9,28	Deslizó la barra
5	19	310	925	9,28	Deslizó la barra
				9,34	

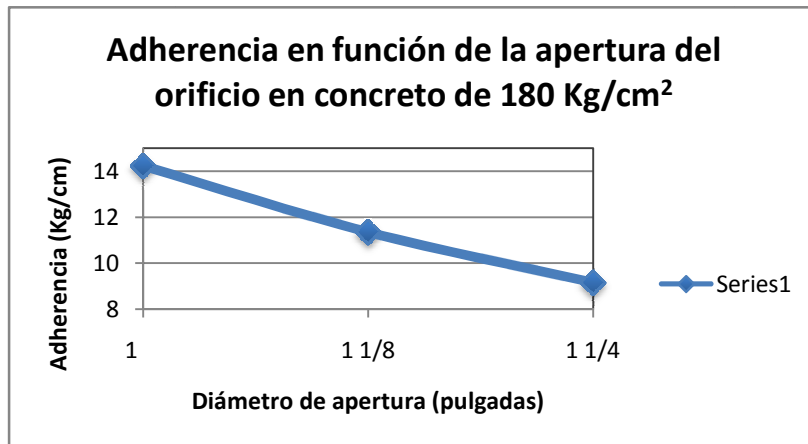
Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica IV.25. Adherencia del anclaje de barra roscada con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

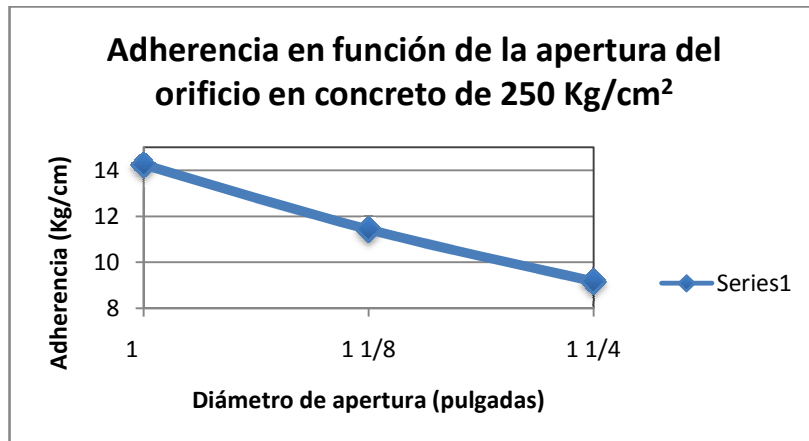
Fuente: Elaboración Propia.

A modo comparativo, se presentan las graficas IV.26, IV.27 y IV.28 de las adherencias alcanzadas en función del diámetro de apertura de orificio, para cada tipo de resistencia.



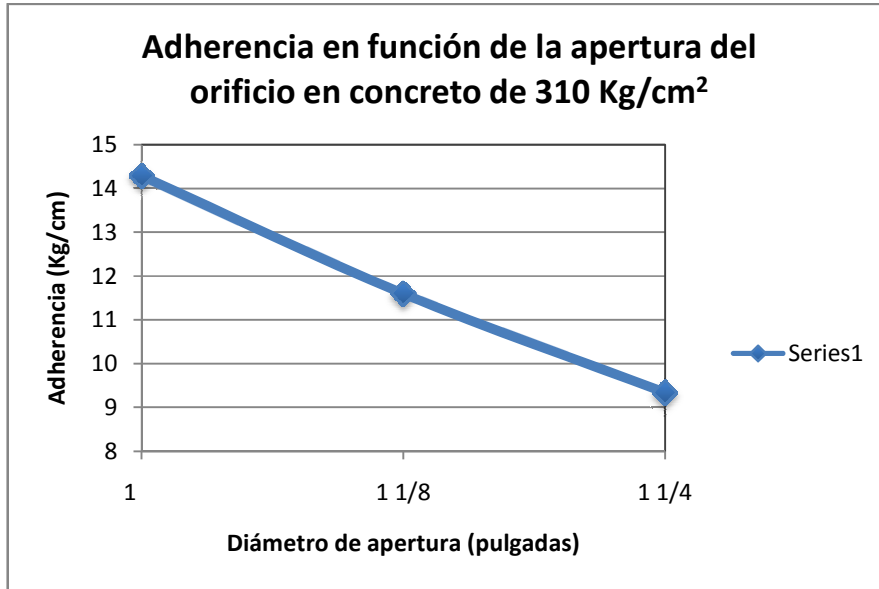
Gráfica IV.26. Adherencia en función de la apertura del orificio en concreto de 180 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica IV.27. Adherencia en función de la apertura del orificio en concreto de 250 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica IV.28. Adherencia en función de la apertura del orificio en concreto de 310 Kg/cm²

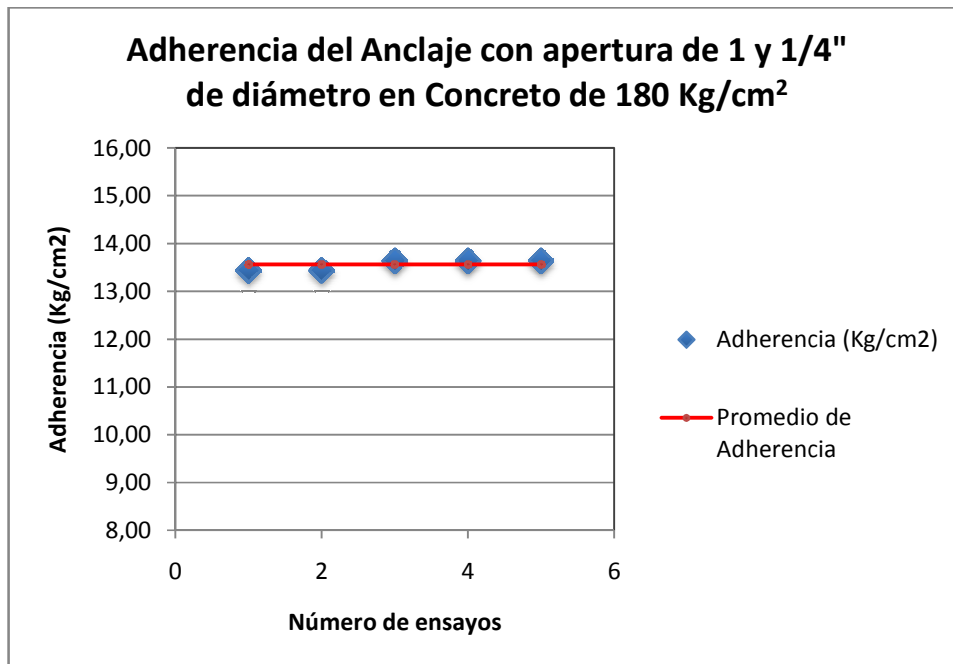
Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas IV.50, IV.51, IV.52 se presenta la adherencia determinada para los pernos ensayados según la resistencia del concreto utilizado y manteniendo fijo el diámetro de apertura del orificio. Posteriormente se anexa la gráfica respectiva, la cual incluye los valores promedio para cada resistencia.

Tabla IV.50. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	20	180	1340	13,44	Deslizó la barra
2	20	180	1340	13,44	Deslizó la barra
3	20	180	1360	13,64	Deslizó la barra
4	20	180	1360	13,64	Deslizó la barra
5	20	180	1360	13,64	Deslizó la barra
Promedio				13,56	

Fuente: Elaboración Propia.



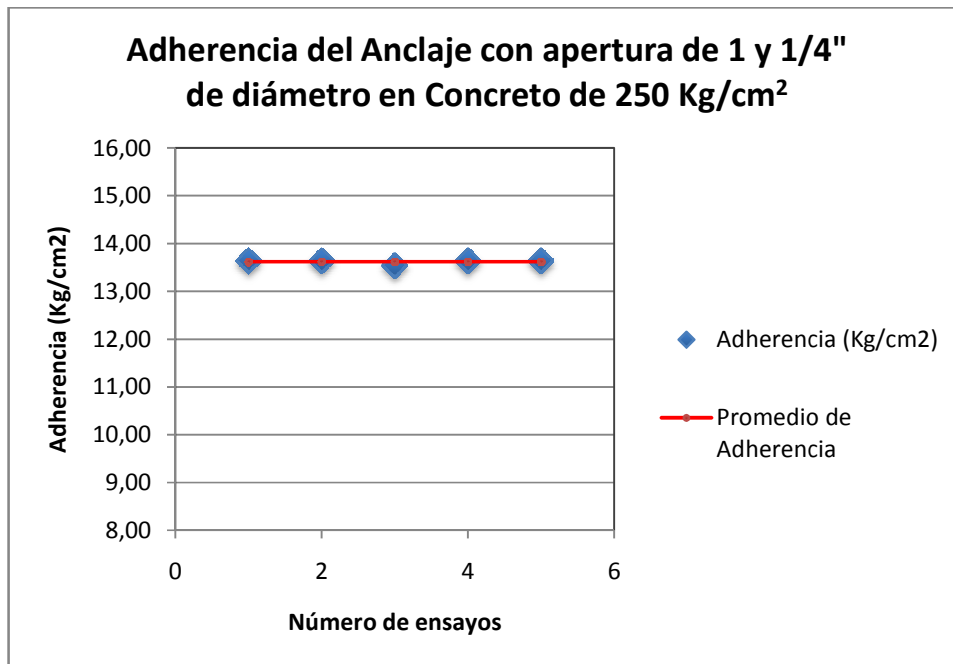
Gráfica IV.29. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 180 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.51. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	20	250	1360	13,64	Deslizó la barra
2	20	250	1360	13,64	Deslizó la barra
3	20	250	1350	13,54	Deslizó la barra
4	20	250	1360	13,64	Deslizó la barra
5	20	250	1360	13,64	Deslizó la barra
Promedio				13,62	

Fuente: Elaboración Propia.



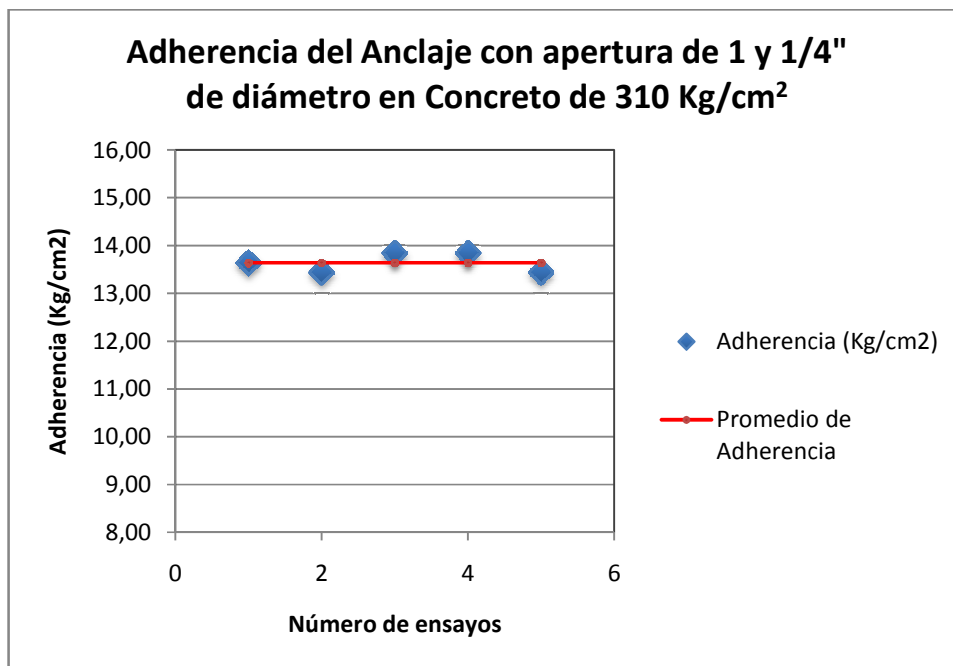
Gráfica IV.30. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 250 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.52. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	f'c (kg/cm ²)	CARGA MAXIMA (kgf)	ADHERENCIA (Kg/m ²)	OBSERVACIÓN
1	20	310	1360	13,64	Deslizó la barra
2	20	310	1340	13,44	Deslizó la barra
3	20	310	1380	13,84	Deslizó la barra
4	20	310	1380	13,84	Deslizó la barra
5	20	310	1340	13,44	Deslizó la barra
Promedio				13,64	

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica IV.31. Adherencia del perno con resina epóxica, con apertura 1 1/4" de diámetro y concreto de resistencia 310 Kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

IV.1.3. AJUSTE DE DISEÑO DE ANCLAJES MECÁNICOS DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPÓXICA LOS MATERIALES LOCALES

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las cargas máximas de diseño, de los materiales del anclaje (acero, concreto y resina epóxica), incluyendo variaciones de las condiciones de apertura del orificio y de la resistencia del concreto.

Tabla IV.53. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 180 Kg/m² y 1" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm ²)
Falla barra	5.160,07	1820,00
Falla adherencia	2.018,95	712,10
Desprendimiento de cono	10.182,34	3.591,40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.55. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 180 Kg/m² y 1 y 1/8" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm ²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.271,32	801,11
Desprendimiento de cono	10.182,34	3.591,40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.54. Cargas y Esfuerzos Maximos de diseno para Concreto de 180 Kg/m² y 1 y 1/4" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.523,69	890,13
Desprendimiento de cono	10.182,34	3.591,40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.54. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseno para Concreto de 250 Kg/m² y 1" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.000,76	705,68
Desprendimiento de cono	12.000,00	4.232,50

Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.55. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseno para Concreto de 250 Kg/m² y 1 y 1/8" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.250,85	793,89
Desprendimiento de cono	12.000,00	4.232,50

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.56. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 250 Kg/m² y 1 y 1/4" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm ²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.500,95	882,10
Desprendimiento de cono	12.000,00	4.232,50

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.57. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 310 Kg/m² y 1" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm ²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.052,62	723,98
Desprendimiento de cono	13.362,63	4.713,11

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.58. Cargas y Esfuerzos Máximos de diseño para Concreto de 310 Kg/m² y 1 y 1/8" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm ²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.309,20	814,47
Desprendimiento de cono	13.362,63	4.713,11

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV.59. Cargas y Esfuerzos Maximos de diseno para Concreto de 310 Kg/m² y 1 y 1/4" de Diámetro de Apertura de Orificio

TIPO DE FALLA	Carga Máxima (Kg)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm²)
Falla barra	5.160,07	1.820,00
Falla adherencia	2.565,78	904,97
Desprendimiento de cono	13.362,63	4.713,11

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se presentan los resultados de la longitud efectiva requerida para lograr desarrollar la carga máxima de diseno, manteniendo constante la adherencia de la resina.

Tabla IV.60. Longitud efectiva del anclaje, manteniendo las Propiedades de los Materiales

Resistencia del Concreto (Kg/cm ²)	LONGITUD EFECTIVA REQUERIDA (cm)		
	Apertura de diámetros (pulgada)		
	1"	1 1/8"	1 1/4"
180	45,44	50,66	56,49
250	45,40	50,27	56,43
310	45,24	49,54	55,40

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta el número de anclajes necesarios para desarrollar la resistencia requerida, manteniendo las condiciones de longitud y materiales.

Tabla IV.61. Cantidad de Anclajes requerida, manteniendo constante la longitud efectiva y las propiedades del material

CANTIDAD DE ANCLAJES REQUERIDOS			
Apertura de diámetros (pulgada)			
Resistencia del Concreto (Kg/cm ²)	1"	1 1/8"	1 1/4"
180	5,00	5,00	6,00
250	5,00	5,00	6,00
310	5,00	5,00	6,00

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla IV.62 contiene los valores de adherencia que debe presentar una resina epóxica para cumplir con los requisitos iniciales de carga máxima y de longitud embebida.

Tabla IV.62. Comportamiento de la adherencia de la resina para cumplir con los requisitos iniciales de carga máxima y de longitud embebida.

ADHERENCIA REQUERIDA DE LA RESINA EPÓXICA	
Diámetro de Apertura (pulgada)	Adherencia de Resina (Kg/cm ²)
1"	64,70
1 1/8"	57,51
1 1/4"	51,76

IV.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV.2.1.GRANULOMETRÍA

IV.2.1.1. Agregado grueso.

La granulometría determinada según la Norma Venezolana COVENIN 255 está comprendida entre los límites que se indican en la Tabla 3 de la Norma COVENIN 277:2000 cumpliendo con los requisitos de calidad especificados en la Norma anteriormente citada.

Se observó en la gráfica una tendencia estándar para agregado grueso con tamaño máximo 1”.

Los valores de peso específico, peso unitario suelto y peso unitario compacto que se observan en la *tabla N° IV.3*, se encuentran dentro de los valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados no livianos, según la tabla N 3.7 que se encuentra en el Manual de Concreto Estructural, página 81.

IV.2.1.2. Agregado fino.

La granulometría determinada según la Norma Venezolana COVENIN 255 está comprendida entre los límites que se indican en la tabla 1 de la Norma COVENIN 277:2000 cumpliendo con los requisitos de calidad especificados en la Norma anteriormente citada.

Según la gráfica de la curva granulométrica se observó que el mayor porcentaje pasante corresponde a los tamices de menor abertura, siendo ésta una arena muy fina.

Los valores de peso específico, peso unitario suelto y peso unitario compacto que se observan en la *tabla N°IV.4*, se encuentran dentro de los valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados finos, según la tabla N 3.7 que se encuentra en el 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. En las *tablas N°IV.15, N°IV.17, N°IV.19 y N°IV.21, N°IV.23 y N°IV.25* se puede observar que los valores de velocidades de pulso ultrasónico están dentro del rango estandarizado los cuales se encuentran entre 2.000 y 5.000 m/s.

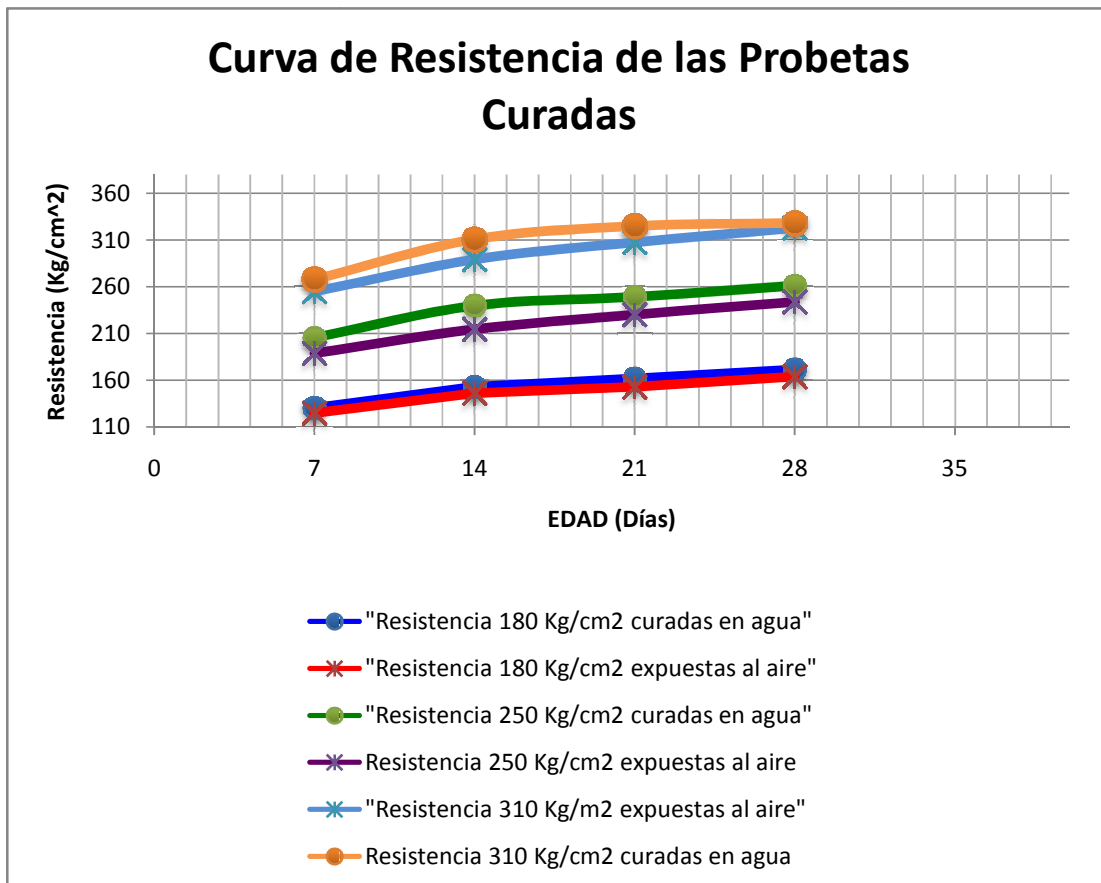
Se puede verificar que los valores de los coeficientes de variación, obtenidos a partir de la velocidad de propagación de ondas, cumplen con los valores establecidos en la tabla XV.2 “Coeficientes de variación inherentes a los ensayos indicados, Manual del Concreto Estructural, página 369” ya que se encuentran alrededor del 2% siendo este valor inferior al 5% establecido como máximo en los lineamientos de la Norma ACI. (ver *tablas N°IV.16, N°IV.18, N°IV.20 y N°IV.22, N°IV.24 y N°IV.26*)

IV.2.2.2. COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

Puede observarse una tendencia logarítmica en la curva de crecimiento de resistencia del concreto, la cual se mantiene constante a partir de los 28 días de su vaciado. Por lo tanto la resistencia promedio alcanzada para el ensayo a los 28

días, será tomada como la resistencia de la mezcla. En este caso serán de 174, 260 y 330 kg/cm² para las probetas curadas en agua; 168, 245 y 323 para las probetas expuestas al aire.

De los anterior se puede evidenciar que las probetas curadas en agua alcanzaron mayor resistencia que las probetas expuestas al aire.



Gráfica N°IV.17.- Curva de resistencia de las probetas curadas

Fuente: Elaboración Propia.

IV.2.2.3. TRACCIÓN DE LAS BARRAS ROSCADAS

En promedio, las barras de acero ensayadas, presentaron un límite elástico convencional de 2816 Kg/cm^2 , un esfuerzo máximo admisible de 4180 Kg/cm^2 y un alargamiento de 25%. Tales resultados son coincidentes con las especificaciones de fábrica del material.

IV.2.2.4. ADHERENCIA DE LA RESINA EPÓXICA

Se obtuvieron resistencias de adherencia de 25,3; 25,08 y $25,73 \text{ kg/cm}^2$ para concretos de resistencias 180, 250 y 310 kg/cm^2 respectivamente.

Se puede notar que la diferencia, entre la mayor y menor resistencia de adherencia de la resina, varía en un 2%; mientras la resistencia del concreto ensayado, varía en un 42%. Por lo cual se evidencia un comportamiento constante en la adherencia de la resina, aún cuando varían significativamente las resistencias del concreto.

En todos los ensayos de adherencia de resina, se rompió la interface de la capa compuesta entre la resina y el concreto.

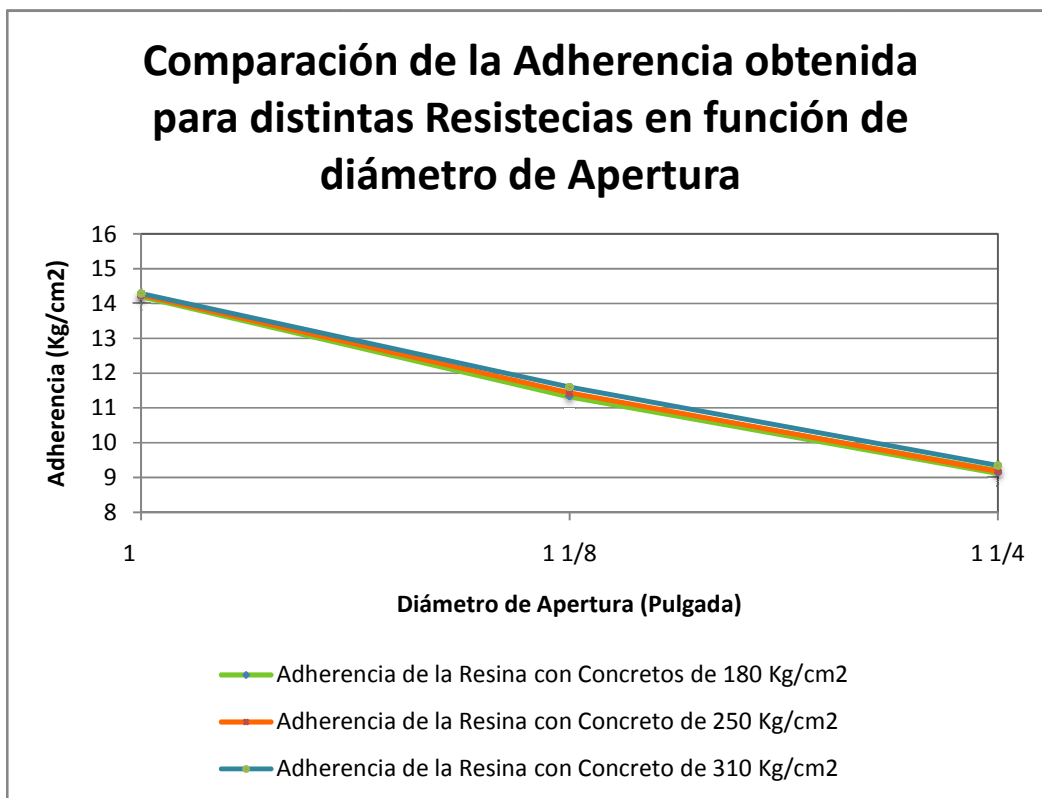
IV.2.2.5. ADHERENCIA DEL ANCLAJE MECÁNICO

En el caso del anclaje basado en una barra roscada con resina epóxica, se aprecia que los resultados de adherencia de la resina, para concreto de 180 Kg/cm^2 , son 14,23; 11,35 y $9,16 \text{ Kg/cm}^2$ para diámetros de apertura de 1", 1 1/8" y 1 1/4" respectivamente.

De igual forma para el concreto de resistencia 250 Kg/cm² la adherencia de la resina fue 14,24; 11,43 y 9,17 Kg/cm² para 1", 1 1/8" y 1 1/4" respectivamente y para el concreto de 310 Kg/cm² fueron 14,29; 11,60 y 9,34 kg/cm².

En este ensayo se repite el comportamiento constante de la adherencia de la resina, en función de la variación de la resistencia del concreto. Sin embargo, la misma aumenta a medida que se disminuye el diámetro de apertura del orificio.

A modo ilustrativo se anexa una gráfica resumen:



Gráfica N°IV.18.- Adherencia del Anclaje en Función del Diámetro de Apertura del Orificio

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del ensayo anterior (Ensayo de adherencia de la resina) propuesto por la Embajada China, la adherencia de la resina resultó ser 25 Kg/cm² aproximadamente. En contraste, el ensayo de adherencia del anclaje arrojó adherencias no mayores a 15 Kg/cm² con el menor de los diámetros.

En el caso de los pernos, la adherencia de la resina fue mayor que la presentada por las barras roscadas. Sin embargo, se mantiene inferior a la determinada con el ensayo de adherencia de la resina propuesto por la Embajada China.

IV.2.3. AJUSTE DE DISEÑO DE LOS ANCLAJES MECÁNICOS DE BARRA ROSCADA CON RESINA EPOXICA

Con base en los resultados obtenidos de los materiales, en los ensayos realizados, es factible mejorar el diseño y adecuarlos para que sean efectivos. Básicamente se proponen tres alternativas:

- Aumentar la longitud efectiva de los anclajes, de acuerdo a la adherencia real calculada, para que el diseño falle por acero (barra roscada). En este caso la longitud propuesta varía entre 45cm, y 55 cm. dependiendo de la abertura del orificio, lo cual no resulta práctico en la aplicación de éste tipo de anclaje.
- Aumentar la cantidad de anclajes para lograr la fuerza del diseño previsto. Para ello se requiere la aplicación de cinco a seis anclajes con iguales características a los evaluados, según la tabla IV.61.
- Cambiar la resina epóxica, por una que aporte la adherencia requerida por el diseño del anclaje según la tabla IV.62.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.I CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados y del análisis de los mismos, se alcanzaron los objetivos propuestos para evaluar el comportamiento de los conectores adheridos de barra roscada con resina epóxica, de esta forma:

- Se determinó la existencia de una granulometría continua, lo cual favorece la producción de concretos más trabajables y con resistencias mecánicas.
- Se verificó que la resistencia a compresión de las probetas de concreto ensayadas, para cada una de las mezclas preparadas, coincide con la resistencia de cálculo, en las dos condiciones de curado evaluadas (curado en agua y exposición al aire). Además se evidenció la homogeneidad del concreto mediante el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico.
- Se verificó que el límite elástico de las barras roscadas ensayadas a tracción, coincidió con las especificaciones del fabricante, aportando confiabilidad para la aplicación como anclaje mecánico.
- Se caracterizó la propiedad de adherencia de la resina epóxica, mediante el método de ensayo propuesto por la Embajada China, observándose que la adherencia de la resina epoxica no aumenta significativamente, mientras se aumenta la resistencia del concreto. Con

base en esta caracterización de los materiales empleados, se logró calcular la carga máxima teórica esperada del anclaje construido.

- Mediante el ensayo de extracción de los anclajes (pull out), se comprobó que al disminuir el diámetro de apertura de los orificios para anclajes, aumentan los esfuerzos máximos admisibles de los mismos, confirmando que al reducir el área de adherencia aumenta la resistencia del anclaje. Sin embargo, este aumento no es significativo para catalogar al anclaje como efectivo en la aplicación evaluada, ya que la falla ocurrió por deslizamiento de la barra roscada.
- Respecto a la sustitución de la barra roscada por un perno, se evidenció que aumentaron los esfuerzos admisibles. Se atribuye el aumento a las diferencias de diámetro entre la barra y el perno, ya que a mayor diámetro de contacto es mayor la adherencia. A pesar de las ventajas observadas, se mantiene la forma de falla por deslizamiento y un esfuerzo promedio para cualquier resistencia.
- En general, a pesar de las variaciones en las condiciones de ensayo tales como resistencia del concreto, diámetro de apertura de los orificios para el anclaje y sustitución de la barra roscada por un perno, se observó el mismo tipo de falla por deslizamiento de las barras. Éste comportamiento se atribuye, a que la resina epóxica empleada no presenta las propiedades necesarias para garantizar su funcionamiento como adhesivo de las barras roscadas de acero, bajo las condiciones de ensayos trabajadas.
- Se determinó que la adherencia real de la resina epóxica, no coincide con la obtenida en el ensayo propuesto de caracterización de la misma.

Esto se debe a que este método no se ajusta a condiciones reales de aplicación.

- Al contrastar la carga máxima obtenida en el ensayo de extracción de anclajes, con la carga máxima calculada bajo lineamientos contemplados en el código ACI, se observó una discrepancia importante entre los valores, esta diferencia se debe a que el diseño contempla una carga máxima para las fallas típicas con los valores de materiales ensayados y la falla registrada corresponde a valores no previstos.
- En resumen, para lograr la efectividad de la aplicación de los anclajes mecánicos basados en barra roscada y adheridos con resina epóxica, es necesario evaluar correctamente las propiedades de los materiales a emplear y verificar el cumplimiento de los requerimientos exigidos en el proyecto.
- De las alternativas presentadas como viables para la aplicación de los anclajes mecánicos de barra roscada con resina epóxica, ajustados a materiales locales, se consideró que la más efectiva corresponde a un cambio de la resina epóxica que se encuentre disponible en el país y que cumpla con las especificaciones.

V.2 RECOMENDACIONES

- Para obtener una aplicación efectiva del anclaje mecánico de barra roscada con resina epóxica, manteniendo constantes las condiciones iniciales utilizadas en el ensayo, se recomienda cambiar el tipo de resina, ya que la empleada no cumple con las propiedades necesarias para su funcionamiento como adhesivo de este tipo de anclaje.
- Para el diseño y aplicación de conectores adheridos de barra roscada con resina epoxica, se debe realizar los ensayos apropiados para la caracterización de los materiales empleados.
- Para determinar la adherencia de la resina epóxica, se recomienda utilizar otro ensayo que se ajuste a las condiciones reales de aplicación.
- Para calcular un anclaje mecánico con resina epóxica, se recomienda diseñar en función de la carga máxima de la barra de acero, debido a la condición ideal de falla es la cedencia del acero.

BIBLIOGRAFÍA

- Comité ACI American Concrete Institute 318, (1995) **Building Code Requirements for Structural Concrete** (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95).
- Comité ACI American Concrete Institute 355.2R-01 (2001). **Comentario sobre la evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos para Instalar en Concreto endurecido.** Disponible www.inti.gov.ar/cirsoc/biblioteca.htm. [Consulta: 2008, octubre 30]
- Comité ACI American Concrete Institute 355.2-01 (2001). **Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos para Instalar en Concreto endurecido y comentario.** Disponible www.inti.gov.ar/cirsoc/biblioteca.htm. [Consulta: 2008, octubre 30]
- Comité ACI American Concrete Institute 355.1R-91 (1991). **Informe sobre el Estado del Arte de los Anclajes en Hormigón.** Disponible www.inti.gov.ar/cirsoc/biblioteca.htm. [Consulta: 2008, octubre 30]
- Eligehausen, R., Balogh, T., (1995), Behavior of Fasteners Loaded in **Tension in Cracked Reinforced Concrete**, *ACI Structural Journal*. Disponible www.inti.gov.ar/cirsoc/biblioteca.htm. [Consulta: 2008, octubre 30]
- PORRERO, J., JIMENEZ, R., RAMOS, C. (1996). **Manual del Concreto Estructural**. Caracas: SIDETUR.

- Norma Venezolana COVENIN 277:200. **Agregados para Concreto. Especificaciones.**
- Norma Venezolana COVENIN 255:1998. **Granulometría, Módulo de Finura y Tamaño Máximo.**
- Norma Venezolana COVENIN 1753:85. **Estructuras de Concreto Armado Análisis y Diseño.**
- Norma Venezolana COVENIN 338:1974. **Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concretos.**
- Norma Venezolana COVENIN 269-78. **Método de Ensayo Para Determinar el Peso Específico y la Absorción del Agregado Grueso.**
- Norma Venezolana COVENIN 354. **Método de Mezclado de Concreto en el Laboratorio.**
- Norma Venezolana COVENIN 339:2003. **Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams.**
- Norma Venezolana COVENIN 263-78. **Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado.**
- Norma Venezolana COVENIN 268-1998. **Agregado Fino Determinación de la Densidad y Absorción.**
- Norma Venezolana COVENIN 1681-80. **Método de Ensayo para Determinar la Velocidad de Propagación de Ondas en el Concreto.**

APÉNDICES

APÉNCIDE 1. ESPECIFICACIONES DE LA PRENSA UNIVERSAL

EQUIPO	Prensa Universal
MARCA	Baldwin
MODELO	Universal
VELOCIDAD DE CARGA	23,00 Kg/min
CAPACIDAD	200 TON

APÉNCIDE 2. ESPECIFICACIONES DE LA PRENSA UNIVERSAL

EQUIPO	Prensa Universal
MARCA	Baldwin
MODELO	Universal
CAPACIDAD	30 TON

APÉNCIDE 3.ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA HIDRÁULICA Y MANÓMETRO (ENSAYO DE EXTRACCIÓN)

EQUIPO	Bomba Hidráulica
MARCA	Power Unit.
EQUIPO	Manómetro
MARCA	Turbinenwerk
CAPACIDAD	600 Kgf/cm ²

APÉNCIDE 4. NORMA ACI 318, CAPÍTULO 34, ANCLAJES EN CONCRETO. DESDE LA PÁGINA 1 HASTA LA PÁGINA 11.

