

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA UNIÓN DE CONCRETO FRESCO A CONCRETO ENDURECIDO, UTILIZANDO ADHERENTES EPÓXICOS Y LA INCLUSIÓN DE UN PLANO IRREGULAR A LA SUPERFICIE DE CONTACTO.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por la Bachiller:

Parra Sosa, Andrea Teresa

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, Mayo de 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA UNIÓN DE CONCRETO FRESCO A CONCRETO ENDURECIDO, UTILIZANDO ADHERENTES EPÓXICOS Y LA INCLUSIÓN DE UN PLANO IRREGULAR A LA SUPERFICIE DE CONTACTO.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Bachiller:
Parra Sosa, Andrea Teresa
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Mayo de 2011

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA UNIÓN DE CONCRETO FRESCO A CONCRETO ENDURECIDO, UTILIZANDO ADHERENTES EPÓXICOS Y LA INCLUSIÓN DE UN PLANO IRREGULAR A LA SUPERFICIE DE CONTACTO”, desarrollado por la bachiller ANDREA TERESA PARRA SOSA 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 UCV, 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 28 días del mes de Abril del año 2011.

Prof. César Peñuela

ACTA

El día _____ se reunió el jurado formado por los profesores

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA UNIÓN DE CONCRETO FRESCO A CONCRETO ENDURECIDO, UTILIZANDO ADHERENTES EPÓXICOS Y LA INCLUSIÓN DE UN PLANO IRREGULAR A LA SUPERFICIE DE CONTACTO”**. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de **INGENIERO CIVIL**.

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

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Número	Letras
Br. Andrea T. Parra S.		

RECOMENDACIONES:

FIRMAS DEL JURADO

Caracas, _____ de _____ de 2011

DEDICATORIA

A mis padres Jesús Parra y Mayela Sosa

Les dedico todos mis triunfos, ya que ustedes son parte de ellos

Los amo infinito

A la Universidad Central de Venezuela

No me imagino haber estudiado en otro lugar que no fuera éste

Tantas cosas que aprendí de la vida dentro de sus linderos

*Todos los conocimientos que empleare el resto de mi vida profesional los
obtuve en este hermoso lugar*

Gracias a ella vencí las sombras

A la Virgen del Carmen

Por escuchar mi voz y mostrarme su rayo de luz cuando más lo necesitaba

ANDREA TERESA

AGRADECIMIENTOS

A dios y la virgen, por ponerme en el lugar que estoy y mostrarme los distintos caminos, darme la libertad para escoger y no abandonarme cualquiera que fuera mi decisión.

A mis padres, gracias por estar ahí en todos los momentos difíciles, escucharme y ayudarme a solucionar los problemas que se me presentaron a lo largo de la carrera, por apoyarme, dejarme pensar libremente y educarme de la forma que lo hicieron, estoy tan orgullosa de que ustedes sean mis padres y no existen palabras que demuestren lo agradecida que estoy.

A mi hermano Marco Antonio (sin S), porque aunque él no lo crea, es mi inspiración a ser mejor cada día, me enseñó a “vivir el presente” y vivirlo feliz, TE AMO BRO, MARCO FERGUSON, CUCHO, HERMANITO DE MI CORAZÓN.

A toda mi familia, que sé que siempre estuvieron pendientes de todo, los quierooo.

A mis mejores amigas Kiki y Conchis, por resistir todos mis ataques de estrés durante todos estos años y aceptar que no asistiera a eventos importantes por estar haciendo proyectos, las amooooo.

A mis compañeros de carrera, quiero dar un agradecimiento especial a los siguientes. En primer lugar a Johan y Gaby, no sé como lo hicieron pero me alentaron a esforzarme, me enseñaron a trabajar en equipo y estoy inmensamente agradecida por que fueron una influencia positiva en mi, gracias por estar ahí y poyarme en todo. A mi súper equipo (mariaaa mariaaa) muy idiots todooss, Daniel Molinet, Gary Curvelo y Ricardo Denis, los quiero chicos, gracias por todo; Daniel y Gary les debo una página completa de agradecimientos, por aparecer a las 7 am para hacer ensayos, por cargar cemento piedra y arena, simplemente por estar ahí y ayudarme. Por último a mi súper TEAM, Alejandra Figueroa, Peter Cabral y Verónica León, somos el mejor team de muros, fundaciones y tesis que existe, de verdad muchas gracias por su apoyo y por estar pendiente de todo el desarrollo de ésta tesis, por las largas horas de trabajo y compañía, los ruidos raros de vero, los cuentos locos de peter y la comodidad de la casa de alita.

A todossss: Ceci, Naty, Meli, Jenny, Willy, mis negros Alcides y Alberto, Laura y Javier, San Juan, Adrian, Nieto, De Sousa, Andre A., Fajardo, Chimi, y a toda la gran familia Ucvista.

A mi tutor el profesor Peñuela por su preocupación y dedicación, a la profesora Alba López por brindarme su ayuda en la realización del tomo y concederme un poco de su tiempo, a la profesora María Eugenia Korody por tenerme paciencia y responder los mil correos que le enviaba a diario durante la carrera e igualmente tener el tiempo y compromiso para participar en la revisión del tomo, a la profesora y directora Celia Herrera por su preocupación y siempre estar pendiente de los estudiantes.

Gracias a TECNOCONCRET por la colaboración que prestaron para la realización del presente Trabajo Especial de Grado, por estar en pro de las investigaciones dirigidas por universitarios y apoyar el desarrollo.

Por último Alejandro Calle, por ser mi compañero durante estos últimos dos años, ayudarme a superar los obstáculos más difíciles de la carrera, por saber que decir en esos momentos de ansiedad, tensión y estrés, despejar mi mente cuando más oscura estaba. Gracias por estar ahí, Te Amo.

*Nuevamente GRACIAS a todos.
ANDREA TERESA PARRA SOSA*

Parra S., Andrea T.

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA UNIÓN DE
CONCRETO FRESCO A CONCRETO ENDURECIDO, UTILIZANDO
ADHERENTES EPÓXICOS Y LA INCLUSIÓN DE UN PLANO IRREGULAR A LA
SUPERFICIE DE CONTACTO.**

Tutora Académica: Prof. Cesar Peñuela.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2011 (143 páginas)

Palabras Claves: concreto estructural, adherentes epóxicos, superficie de contacto irregular, resistencia mecánica.

Constantemente en el área de la construcción venezolana se observan casos donde es necesario vaciar concretos estructurales contiguos a otros ya fraguados, normalmente utilizando adherentes epóxicos y en la actualidad algunas obras, mediante el encofrado le realizan un plano irregular (tipo ondulación) a la superficie de contacto. El objetivo principal de este proyecto, es comprobar que las uniones con los epóxicos y el plano irregular sean eficaces y a su vez que proporcionen la resistencia y seguridad necesaria que exige la obra.

Para corroborar lo antes mencionado se evaluó la resistencia de adhesión que proporciona la utilización de ambos métodos por separado y cohesionados, por lo que fue necesario la realización una serie de ensayos relacionados con la resistencia mecánica de los elementos (sometidos a compresión a los siete días de edad), se analizaron los diferentes resultados y luego se hicieron las debidas comparaciones (uniones con, y sin epóxicos, uniones con planos irregulares,

uniones empleado ambos métodos). Se evaluaron las uniones de concreto fresco a concreto endurecido realizadas a las veinticuatro (24) horas y a los siete (7) días.

Se siguieron los procedimientos establecidos por la norma COVENIN 0338:2002 (Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto) y la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) C882/C882M:05 “Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear”, (Resistencia de la unión de los sistemas de epoxi-resina utilizados con concreto empleando un corte oblicuo).

Los resultados obtenidos demuestran que las uniones donde se aplica la superficie irregular de contacto (con y sin epóxico) son las que desarrollan una mejor adhesión y resistencia a compresión, por otra parte las uniones realizadas a las veinticuatro horas resultan ser más eficaces que las uniones ejecutadas a los siete (7) días.

Por otra parte los resultados comparados con las probetas testigo demuestran que las uniones realizadas con ángulos de treinta (30) grados (establecido en la norma ASTM C882/C882M:05), no proporcionan una resistencia confiable.

Las uniones realizadas con el adherente epóxico (sin utilizar el plano irregular) arrojaron resultados de hasta el 62.76% de la establecida por la hoja técnica del adherente utilizado (126 kgf/cm^2 a los dos días).

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
I.1. Planteamiento de Problema	4
I.2. Objetivos.....	7
I.2.1. Objetivo General	7
I.2.2. Objetivos Específicos	7
I.4. Justificación	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO	9
II.1. Antecedentes	9
II.2. Concreto	10
II.2. Agregados.....	11
II.2.1. Granulometría	13
II.2.2. Tamaño máximo	13
II.2.3. Segregación.....	13
II.3. Concreto Fresco.....	14
II.4. Resistencia Mecánica del Concreto	14
II.5. Resistencia a Compresión	15
II.6. Juntas de Construcción.....	16
II.7. Adherentes Epóxicos	16
II.7.1. Antecedentes	16
II.7.2. Uniones Adhesivas	21
II.7.3. Epóxicos	22
III.7.3.4 Epóxicos según la ASTM	23

II.8. Modelo de Adhesión Mecánica	26
CAPÍTULO III	27
MARCO METODOLÓGICO	27
III.1. Método	27
III.2. Metodología	27
III.2.1. Recopilación de Información	27
III.2.2. Adquisición de Materiales	28
III.2.3. Equipos Necesarios	29
III.2.4. Análisis de los Agregados	30
III.2.4.1. Granulometría del Agregado Fino	31
III.2.4.2. Granulometría del Agregado Grueso	31
III.2.4.3. Contenido de humedad, Agregado fino y Agregado Grueso ..	31
III.2.4.4. Peso específico y absorción, Agregado Fino	32
III.2.4.5. Peso específico y absorción, Agregado Grueso.....	33
III.2.4.6. Peso unitario suelto y compacto, Agregado Fino y Grueso	35
III.2.4.7. Resistencia al desgaste del agregado grueso.....	35
III.2.5. Diseño de Mezcla.....	36
III.2.6. Procedimiento en laboratorio de Concreto	40
III.2.6.1. Fabricación de formaletas.....	40
III.2.6.2. Mezclas	41
III.2.6.3. Ensayo Cono de Abrams	42
III.2.6.4. Elaboración de Las Probetas, Etapa 1	43
III.2.6.5. Elaboración de Las Probetas, Etapa 2.....	44
III.2.6.6. Elaboración de Probetas, Etapa 3	46
III.2.7. Ensayos de Compresión	46
III.2.8. Presentación de Resultados.....	48
CAPÍTULO IV.....	49
RESULTADOS.....	49

IV.1. Adquisición de materiales	49
IV.2. Análisis de los agregados	52
IV.2.1. Granulometría agregado fino	52
IV.2.2. Granulometría agregado grueso	54
IV.2.3. Contenido de humedad agregado fino y grueso.....	56
IV.2.4. Peso específico y absorción del agregado fino	57
IV.2.5. Peso específico y absorción del agregado grueso	58
VI.2.6. Peso unitario suelto y compacto, Agregado Fino y Grueso	59
IV.2.7. Resistencia al desgaste del agregado grueso.....	60
IV.3. Diseño de mezcla	61
IV.4. Fabricación de formaletas.....	65
IV.5. Mezcla	66
IV.5.1. Cono de Abrams.....	67
IV.6. Elaboración de probetas, Etapa 1	68
IV.7. Elaboración de probetas, Etapa 2	69
IV.8. Elaboración de las probetas, Etapa 3	72
IV.9. Ensayos a Compresión.....	74
IV.9.1. Probetas Testigo.....	76
IV.9.2. Concretos unidos a los siete (7) días	78
IV.9.2.1. Resistencia a compresión de la Adhesión	78
IV.9.2.2. Resistencia a compresión	83
IV.9.3. Concretos unidos a las veinticuatro (24) horas	88
IV.9.3.1. Resistencia a compresión de la adhesión	88
IV.9.3.2. Resistencia a compresión	93
CAPÍTULO V.....	98
ANÁLISIS DE RESULTADOS	98
V.1. Resistencia de adhesión.....	98
V.1.1. Probetas unidas a los siete (7) días	98

V.1.1.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico	98
V.1.1.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico	100
V.1.2. Probetas unidas a las veinticuatro (24) horas	101
V.1.2.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico ..	102
IV.1.2.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico	103
V.1.3. Comparaciones entre métodos	104
V.1.3.1. Comparaciones de las uniones realizadas a los siete (7) días	105
V.1.3.2. Comparaciones de las uniones realizadas a las veinticuatro (24) horas	106
V.1.3.3. Comparaciones de las uniones con superficie de contacto lisa, uniones a las 24 horas y 7 días	107
V.1.3.4. Comparaciones de las uniones con superficie de contacto irregular, uniones a las 24 horas y 7 días	108
V.3.5. Comparaciones de todos los métodos utilizados	109
V.2. Resistencia a compresión	111
V.2.1. Probetas unidas a los siete (7) días	111
V.2.1.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico ..	111
V.2.1.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico	112
V.2.2. Probetas unidas a las veinticuatro (24) horas	113
V.2.2.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico ..	113
V.2.2.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico	115
V.2.3. Comparación entre métodos, uniones a los 7 días	116
V.2.4. Comparación entre métodos, uniones a las 24 horas	117
V.2.5. Comparación entre métodos	118
CONCLUSIONES	120

RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	125
GLOSARIO	128
ANEXOS	131
Anexo 1	132
Requerimientos Físicos de los Sistemas Adherentes	132
Anexo 2	133
Hoja Técnica del Adherente Epóxico “Epocret IR”	133
Anexo 3	136
Límites de la Granulometría del Agregado Fino	136
Norma COVENIN 0277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos)	136
Anexo 4	137
Límites de la Granulometría del Agregado Grueso	137
Norma COVENIN 0277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos)	137
Anexo 5	139
Probetas unidas con epóxico.	139
Anexo 6	140
Yeso Utilizado	140
Anexo 7	141
Medición y peso de los cilindros	141
Ensayo de compresión a cilindro con superficie de contacto lisa, unida a las 24 horas	141
Modelo de planilla de recolección de datos	142
Cilindros ensayados	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1: Requerimiento en uniones adhesivas.....	21
Figura II.2: Modelo de Adhesión Mecánica.	26
Figura III.1: Dimensiones de Formaletas.....	41
Figura III.2: Cono de Abrams	43
Figura III.3: Fallas Características.....	47
Figura IV.1: Cemento Portland Tipo III.	49
Figura IV.2: Arena.....	50
Figura IV.3: Epocret IR.....	50
Figura IV.4: Tubo P.V.C.	51
Figura IV.5: Arena colocada en sacos.....	51
Figura IV.6: Tamizado del agregado fino.....	52
Figura IV.7: Tamizadora Mecánica.....	55
Figura IV.8: Medidas cada 30 cm.....	65
Figura IV.9: Cortes de tubo PVC con tronzadora.	66
Figura IV.10: Formaletas terminadas.	66
Figura IV.11: Mezcladora de eje vertical.	67
Figura IV.12: Mezcladora de eje inclinado.....	67
Figura IV.13: Medición de asentamiento.	68
Figura IV.14: Probetas Testigo.....	68
Figura IV.15: Formaletas Etapa 2.....	69
Figura IV.16: Anclaje de las formaletas, Etapa 2.....	69
Figura IV.17: Superficie irregular.....	70
Figura IV.18: Enrasado de probetas, Etapa 2.	70
Figura IV.19: Fraguado Etapa 2.	71
Figura IV.20: Probetas Etapa 2.	71
Figura IV.21: Desencofrado de formaletas, Etapa 2.....	71

Figura IV.22: Secado de la superficie de las probetas.....	72
Figura IV.23: Preparación de probetas, Etapa 3.....	72
Figura IV.24: Probeta Etapa 3, desencofrada.	73
Figura IV.25: Desencofrado de las probetas, Etapa 3.	74
Figura IV.26: Refrentado de las probetas.....	74
Figura IV.27: Ensayo de compresión.	75
Figura IV.28: Elipse.....	76
Figura V.1: Falla tipo D.	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III.1: Cantidad de probetas por método.	45
Tabla IV.1: Granulometría agregado fino.	53
Tabla IV.2: Granulometría agregado grueso.	54
Tabla IV.3: Humedad agregado fino.	56
Tabla IV.4: Humedad agregado grueso.	56
Tabla IV.5: Peso saturado con superficie seca del agregado fino.	57
Tabla VI.6: Porcentaje de absorción del agregado fino	57
Tabla IV.7: Peso específico saturado con superficie seca del agregado grueso...	58
Tabla IV.8: Porcentaje de absorción del agregado grueso.	58
Tabla IV.9: Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.	59
Tabla IV.10: Peso unitario suelto del agregado fino.	59
Tabla IV.11: Resultados ensayo Los Ángeles.	60
Tabla IV.12: Clasificación del agregado.	61
Tabla IV.13: Resistencia requerida del concreto.	62
Tabla IV.14: Relación agua/cemento.	62
Tabla IV.15: Cantidad de cemento.	62
Tabla IV.16: Volumen de aire y cantidad de agua.	63
Tabla IV.17: Relación beta y peso específico combinado.	63
Tabla IV.18: Cantidades de los agregados.	63
Tabla IV.19: Peso saturado con superficie seca del agregado fino y grueso.	64
Tabla IV.20: Diseño de mezcla.	65
Tabla IV.21: Resistencia, Probetas testigos.	77
Tabla IV.22: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a los 7 días).....	79
Tabla IV.23: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a los 7 días).....	80

Tabla IV.24: Resistencia de adhesión, probetas con superficie irregular (uniones a los 7 días).	81
Tabla IV.25: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (7 días).....	82
Tabla IV.26: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a los 7 días).....	84
Tabla IV.27: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a los 7 días).....	85
Tabla IV.28: Resistencia a compresión, probetas con superficie irregular (uniones a los 7 días).	86
Tabla IV.29: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (7 días).....	87
Tabla IV.30: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a las 24 horas).....	89
Tabla IV.31: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a las 24 horas).	90
Tabla IV.32: Resistencia de adhesión, probetas con superficie irregular (uniones a las 24 horas).	91
Tabla IV.33: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (24 horas).....	92
Tabla IV.34: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a las 24 horas).....	94
Tabla IV.35: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a las 24 horas).	95
Tabla IV.36: Resistencia a compresión, probetas con superficie irregular (uniones a las 24 horas).	96
Tabla IV.37: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (24 horas).....	97

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación III.1: Cálculo de la humedad.	32
Ecuación III.2: Cálculo del peso específico con superficie seca.	33
Ecuación III.3: Cálculo del porcentaje de absorción	33
Ecuación III.4: Cálculo del peso específico con superficie seca	34
Ecuación III.5: Cálculo del porcentaje de absorción	34
Ecuación III.6: Resistencia promedio requerida, para $f'c < 350 \text{ kgf/cm}^2$	36
Ecuación III.7: Relación agua/cemento.	37
Ecuación III.8: Relación agua/cemento corregida.	37
Ecuación III.9: Cantidad de cemento.	37
Ecuación III.10: Cantidad de cemento corregida.	37
Ecuación III.11: Volumen de agua.	38
Ecuación III.12: Cantidad de agua estimado.	38
Ecuación III.13: Relación β	38
Ecuación III.14: Peso específico de los agregados combinados.	38
Ecuación III.15: Total de agregados.	38
Ecuación III.16: Cantidad agregado fino.	39
Ecuación III.17: Cantidad de agregado grueso.	39
Ecuación III.18: Peso saturado con superficie seca del agregado fino.	39
Ecuación III.19: Peso saturado con superficie seca del agregado grueso.	39
Ecuación III.20: Cantidad de agua para la mezcla.	40
Ecuación III.21: Resistencia a la compresión.	47
Ecuación III.22: Resistencia de Adhesión.	47
Ecuación III.23: Promedio de la resistencia a la compresión.	48
Ecuación IV.1: Área de un elipse.	75

ÍNDICE DE GRÁFICAS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

Gráfica IV.1: Granulometría agregado fino.....	53
Gráfica IV.2: Granulometría agregado grueso.....	55
Gráfica V.1: Resistencia de la adhesión, superficie lisa, uniones a los 7 días. ...	100
Gráfica V.2: Resistencia de la adhesión, superficie irregular, uniones a los 7 días.	101
Gráfica V.3: Diferencia de resistencias, superficie lisa, uniones a las 24 horas. .	102
Gráfica V.4: Resistencia de la adhesión, superficie lisa, uniones a las 24 horas.	103
Gráfica V.5: Resistencia a la adhesión, superficie irregular, uniones a las 24 horas.	104
Gráfica V.6: Comparación de resistencia a la adhesión, uniones a los 7 días. ...	105
Gráfica V.7: Comparación de resistencias a la adhesión, uniones a las 24 horas.	106
Gráfica V.8: Comparación de las uniones con superficie de contacto lisa.	108
Gráfica V.9: Comparación de la resistencia a la adhesión, superficie irregular. .	109
Gráfica V.10: Comparación de la resistencia de la adhesión, métodos utilizados.	110
Gráfica V.11: Resistencia a compresión, superficie lisa, uniones a los 7 días. ...	112
Gráfica V.12: Resistencia a compresión, superficie irregular, uniones a los 7 días.	113
Gráfica V.13: Resistencia a compresión, superficie lisa, uniones a las 24 horas.	114
Gráfica V.14: Resistencia a compresión, superficie irregular, uniones a las 24 horas.....	115
Gráfica V.15: Comparación de las uniones realizadas a los 7 días.	116
Gráfica V.16: Comparación de las uniones realizadas a las 24 horas.	117
Gráfica V.17: Comparación de la resistencia a compresión, métodos utilizados.	119

INTRODUCCIÓN

La construcción tanto en Venezuela como en el mundo ha ido evolucionando con el pasar de los años, tratando de brindar a los habitantes de las poblaciones las condiciones de seguridad y confort que estos necesitan, las técnicas aplicadas son cada vez más eficientes y efectivas y los materiales a implementar igualmente han sido afectados por la onda evolutiva. La resistencia de las estructuras en la mayoría de los casos es el incentivo al progreso y el concreto es uno de los materiales que ha ido evolucionando gracias a su capacidad de aportar las diferentes resistencias que la industria de la construcción demanda.

Unas de las desventajas que presenta el concreto es su incapacidad de lograr una adherencia a otros concretos ya fraguados que garantice la continuidad del los elementos.

En Venezuela, motivado a los diferentes problemas que se presentan en la ejecución de las obras civiles debido a los horarios de trabajo, fallas con la maquinaria, escasez de material y demoras con los servicios de envío y recepción del mismo, numerosas veces los encargados de obra se ven en la obligación de interrumpir los vaciados de concreto, teniendo como consecuencia la necesidad de unir concretos de diferentes edades.

Para solventar el problema antes mencionado, la industria de la construcción en Venezuela está aplicando la utilización de adherentes epóxicos y la inclusión de un plano irregular a la superficie de contacto. Por una parte los adherentes epóxicos se rigen por la norma ASTM (American Society for Testing

and Materials), en cambio el plano irregular solo propone el aumento de superficie de contacto logrando una adhesión mecánica.

Las resistencias de adhesión que proporcionan los dos métodos nombrados anteriormente no han sido evaluadas por los entes reguladores venezolanos, por lo que el presente Trabajo Especial de Grado propone evaluar el comportamiento mecánico de estas uniones siguiendo algunos de los procedimientos establecidos en la norma ASTM C882/C882M:05 “Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear”, (Resistencia de la unión de los sistemas de epoxi-resina utilizados con concreto empleando un corte oblicuo).

En el primer capítulo, denominado “Fundamentos de la Investigación” se da a conocer la problemática que incentivó al estudio del tema, los objetivos y justificación del presente Trabajo Especial de Grado.

En el segundo capítulo, denominado “Marco Teórico” se presentan las bases teóricas y antecedentes que soportan la investigación.

El tercer capítulo se denomina “Marco Metodológico”, y en él se explican detalladamente las actividades a realizar para cumplir con los objetivos trazados en el presente Trabajo Especial de Grado.

Los resultados son expuestos en el cuarto capítulo, denominado “Resultados” y el análisis de éstos es mostrado en el sexto capítulo “Análisis de Resultados”.

Por último se presentan las “Conclusiones” y “Recomendaciones”, donde se expresa la síntesis que surge de los análisis de resultados y de las experiencias provenientes de la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. Planteamiento de Problema

El concreto es uno de los materiales más utilizado en la construcción venezolana, y el mismo se da a conocer en Venezuela con la puesta en funcionamiento de la primera industria cementera nacional en el año 1909, ubicada en la Vega, Caracas, aunque ya a mediados de 1895 se habían realizado pilotes de concreto reforzado en la construcción de muelles y en pilas para puentes de la línea férrea; desde entonces en Venezuela se han venido desarrollando las formas de manejar el concreto, y a partir de la segunda década del siglo XX se conocen contribuciones técnicas de autoría venezolana. Mundialmente el concreto comienza su desarrollo a principios de siglo XX y éste permanece en constante evolución y avance (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2009).

El concreto utilizado de manera estructural debe cumplir con ciertas normas establecidas en Venezuela; SENCAMER (Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología, y Reglamentos Técnicos) actualmente se encarga de esta labor. Este instituto fue creado en la Gaceta Oficial número 36.618 en el año 1999 como fusión de dos grandes entes, SANAMET (Servicio Autónomo Nacional de Metrología) y el SENORCA (Servicio Autónomo de Normalización y Certificación de Calidad). Las normas han sido adaptadas a lo largo del tiempo gracias a los avances que presenta el concreto, actualmente se

denominan normas COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales) y Normas Venezolanas.

En la actualidad como consecuencia de los diferentes problemas que se presentan en campo debido a los horarios de trabajo, fallas con la maquinaria, escasez de material y demoras con los servicios de envío y recepción del mismo, numerosas veces los encargados en obra se ven en la necesidad de interrumpir los vaciados de concreto, teniendo como consecuencia la discontinuidad de los elementos estructurales; estas juntas de construcción también se observan en las reparaciones de elementos de concreto.

En este sentido la evolución de los materiales empleados en la construcción, ha desarrollado una serie de compuestos químicos que son denominados adhesivos epóxicos, constituidos por dos (2) componentes a base de resinas epóxicas y poliamidas, tolerantes a la humedad. Estos presentan como principal características proporcionar la resistencia necesaria en las uniones de los concretos con diferentes edades, aportándole una supuesta continuidad al elemento. Los epóxicos son utilizados con frecuencia en la construcción, y cumplen con los requerimientos de la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) C881/C881M (Standard Specification for Epoxy-Resin-Base bonding systems for concrete).

Otro de los métodos utilizados en obra, es la realización de encofrados particulares cuando se debe suspender algún vaciado; el encofrado es realizado de manera tal que brinda al concreto una superficie con ranuras perpendiculares a la dirección y sentido de la carga; esto proporciona a la hora de vaciar el nuevo concreto un plano de ondulación que se presume ayuda a la adherencia (sin utilizar los epóxicos antes mencionados).

La norma Venezolana 1753:2006 (Proyecto y construcción de obras en concreto estructural) en su sección 6.5 “Juntas de Construcción”, establece algunos parámetros sobre las juntas de construcción, pero no detalla cómo deben ser las características de la superficie y tampoco explica cómo evitar problemas de resistencia si las juntas no coinciden con los tramos estructuralmente adecuados. Por otra parte en su sección 11.6.2 (Coeficientes de Fricción), establece los coeficientes a ser utilizados para el cálculo de corte, y especifica el factor a utilizar cuando se le ejecuta intencionalmente una superficie de rugosidad al concreto endurecido.

Sin embargo, las resistencias que proporcionan los dos métodos nombrados anteriormente no han sido evaluadas por los entes reguladores venezolanos, es decir que no se conoce a ciencia cierta el comportamiento de los elementos de concretos que con el fin de evitar la discontinuidad debido a sus diferentes edades, fueron adheridos con dichos métodos.

Por esta razón la finalidad del presente proyecto de trabajo especial de grado se enfoca en evaluar la resistencia mecánica (específicamente compresión) de las uniones de concreto nuevo con concreto viejo o llamadas juntas de construcción, utilizando adherentes epóxicos y la superficie de contacto irregular.

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico de la adherencia de concreto estructural fresco a concreto estructural endurecido utilizando tres (3) métodos de unión (adhesivos epóxicos, uniones cuando el concreto endurecido posee un plano irregular y la fusión de ambos métodos).

I.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar la resistencia a compresión de las muestras de concreto estructural endurecido adherido a concreto estructural fresco, unidos a las veinticuatro (24) horas del primer vaciado.
- Analizar la resistencia a compresión de las muestras adheridas con los métodos seleccionados, unidos a los siete (7) días del primer vaciado.
- Contrastar los resultados obtenidos con los arrojados por las probetas testigos.
- Analizar el tipo de falla que presentaron las probetas ensayadas a compresión y compararlas con las fallas características.
- Contrastar los resultados arrojados por las muestras adheridas con epóxicos, con los resultados de resistencia especificados por el producto.

I.4. Justificación

El aporte principal de la investigación está enfocado en garantizar que la adherencia de los métodos utilizados en la actualidad cumplan con las resistencias estipuladas en las normas venezolanas, todo esto con el fin de acreditar los métodos como un sistema eficaz y confiable dentro de la construcción venezolana.

El resultado del Trabajo Especial de Grado podría tomarse como un aporte a la investigación de los métodos utilizados para adherir concretos de diferentes edades y contribuir a la normalización de las técnicas y su aporte a la industria de la construcción venezolana es evidente, debido a la falta de información que se presenta en esta área. Los resultados que arroje la investigación pueden tomarse como referencia comparativa para nuevas investigaciones.

Por otra parte se pretende obtener conocimientos en la utilización y ensayo de las uniones mencionadas y definir un criterio que pueda favorecer la aplicación de los métodos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes

Las uniones de concretos a base de epóxicos y con planos irregulares no han sido debidamente estudiadas en Venezuela, sin embargo son altamente utilizados en la industria de la construcción, en Guatemala se llevó a cabo un estudio relacionado con los epóxicos, llamado: “Evaluación sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de epóxicos.” (Archila Ortiz, 2007), donde se plantean los siguientes objetivos:

- Aplicar la norma ASTM C-881 (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas), para determinar la caracterización de los diferentes tipos de adhesivos evaluados, apoyado en las especificaciones que manda la Norma ASTM C-882, (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epóxicos a base de resina usados con concreto).
- Aplicar la norma ASTM C-1059 (Especificación para agentes Látex para unir concreto fresco y concreto endurecido).
- Obtener resultados de resistencia a compresión al utilizar adhesivos.
- Analizar por medio de gráficos el comportamiento de adhesión entre concreto antiguo con nuevo.

- Obtener resultados costo-beneficio de los adhesivos.

En este caso se llegó a la conclusión de que el constructor podía contar en ese momento con una buena herramienta para resolver los problemas de uniones de concretos de diferentes edades, ya que años atrás el desconocimiento del comportamiento de estas uniones proporcionaba desconfianza e inconvenientes. Los resultados arrojados por la investigación fueron ventajosos, aportando credibilidad a dichos productos.

II.2. Concreto

El concreto es uno de los materiales más utilizado en la construcción venezolana, el mismo es una mezcla diseñada a base de cemento, agua y agregados, en algunos casos se emplean aditivos; el mismo es llamado hormigón y Porrero (2009) lo define en Manual Del Concreto Estructural, como un material constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable que endurece con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en el producto pastoso.

El concreto posee dos grandes características, una referida a su fluidez y trabajabilidad y la otra referente a su resistencia, la primera engloba diferentes campos como los son: docilidad, asentamiento y otras que definen al concreto fresco, la resistencia por otra parte es ensayada al concreto endurecido.

Cada mezcla de concreto debe proporcionar la resistencia deseada, esto se va moldeando dependiendo de la calidad de los elementos que constituyen la mezcla. La calidad de un concreto dado va a depender de la calidad de sus componentes, de su diseño de mezcla y su posterior preparación y manejo, de los cuidados de

uso y mantenimiento, y del grado de satisfacción de las exigencias de uso (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2009).

Se puede decir que el concreto es un material de la naturaleza de la piedra que posee resistencia, dureza y durabilidad, por otra parte una de sus características propia es el tamaño del agregado grueso, este debe ser mayor a un cuarto (1/4) de pulgada de diámetro, si este es menor es conocido como mortero (Hornbostel, 1999).

La calidad de los materiales obtenidos en los ensayos debe satisfacer los parámetros establecidos en la Norma Venezolana 1753:2006 capítulo 3, “Estructuras de concreto reforzado para edificaciones. Análisis y diseño”.

La forma de realizar las mezclas depende de una serie de factores asociados al lugar de trabajo, disponibilidad de herramientas y dimensión de la obra entre otras; el concreto puede ser mezclado manualmente con el uso de las herramientas necesarias y de forma mecánica utilizando mezcladoras, que no son más que rotores que de forma envolvente agitan los materiales hasta formar una masa homogénea.

II.2. Agregados

De acuerdo a Hornbostel (1999), un agregado es cualquier material duro e inerte formado por fragmentos clasificados en una amplia gama de tamaños, que se mezclan con un material cementante para formar concreto o un material similar.

Los agregados se separan en dos grupos: finos y gruesos, ambos son utilizados en la mezcla y cada uno posee características propias del material.

Los agregados finos o arena, como su nombre lo señala son las partículas más finas del conjunto; la arena de uso más frecuente está formada por granos naturales depositados por las aguas, por otra parte las llamadas arenas de minas provienen de yacimientos que pueden encontrarse hoy en día lejos de cursos de agua (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2009).

Los agregados gruesos provienen de trozos de roca trituradas a los tamaños convenientes o de granos naturales redondeados por el arrastre de las aguas, estos poseen diferentes nombres que los separan normalmente por tamaño como piedra picada, canto rodado, grava, gravilla.

Se debe destacar que el agregado tiene otras propiedades diferentes de las de la roca original: forma y tamaño de la partícula, textura de superficie y absorción; las cuales les puede influir considerablemente en la calidad del concreto fresco y fraguado (Neville & Brooks, 1998).

La calidad de los agregados es un factor fundamental a la hora de requerir un concreto con características especiales, se deben realizar los ensayos pertinentes a desgaste del agregado, cociente de forma y granulometría; de acuerdo a los resultados es de suma importancia respetar los límites establecidos en norma para la utilización de estos agregados en la mezcla de concreto. Se puede clasificar la obtención de estos agregados según Porrero (2009) como: agregados controlados, agregados conocidos con control insuficiente y agregados no empleados con anterioridad, los agregados controlados poseen garantía de su calidad, los agregados conocidos provienen de lugares sobre los que hay experiencia y su calidad ya ha sido probada en la elaboración de concretos y los agregados no empleados con anterioridad son aquellos que anteriormente no han sido utilizados y se deben realizar los ensayos y pruebas necesarias para

determinar las propiedades y así las posibilidades de ser empleados en la mezcla de concreto.

Las propiedades de los agregados según Neville y Brooks (1998), en su publicación Tecnología del Concreto, son agrupadas como propiedades mecánicas, propiedades físicas y propiedades térmicas.

II.2.1. Granulometría

Cada material posee una granulometría diferente, entendiéndose por granulometría la distribución de tamaños de las partículas de cada agregado y el mismo es determinado por medio de tamices, siguiendo los pasos establecidos por la norma COVENIN 255:1998, "Agregados. Determinación de la composición granulométrica", la importancia de la granulometría se debe a su incidencia sobre la calidad del material para ser usado como componente del concreto.

II.2.2. Tamaño máximo

Es el menor tamaño de la abertura del cedazo por donde pasa la mayor cantidad de partículas gruesas del agregado. Esta característica debe ser tomada en cuenta, ya que se puede lograr economizar la mezcla de concreto y aumentar su calidad.

II.2.3. Segregación

Esta acción surge cuando los agregados están constituidos por granos con tamaños muy diferentes, éstos tienden a separarse e inciden en la calidad heterogénea del concreto, según Porrero (2009) ésta puede ser controlada manejando los agregados por fracciones separadas de acuerdo con su tamaño, combinándose sólo en el momento del mezclado.

II.3. Concreto Fresco

La forma de manejar el concreto fresco incide de forma significativa en su comportamiento a largo plazo, por esta razón se debe estudiar el concreto de manera detallada en esta fase.

Se habla de esta característica del concreto desde el momento en que todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa, es decir, el período plástico (Neville & Brooks, 1998).

El comportamiento que presenta el concreto en estado fresco puede anticiparnos a las propiedades que puede desarrollar el concreto al endurecer; si la conducta del concreto resulta atípica durante este estado, es posible que la calidad del mismo al endurecer haya sido afectada de manera desfavorable. Es importante resaltar que el comportamiento del concreto fresco va a depender de muchos factores, entre los más importantes destacan el diseño de mezcla, mezclado y medio ambiente.

II.4. Resistencia Mecánica del Concreto

El concreto posee la capacidad de resistir cierta cantidad de fuerza sin fallar, esta cualidad en concretos estructurales depende principalmente de la resistencia de la pasta de cemento y su adherencia con los agregados. Obtener la resistencia mecánica del concreto es uno de los factores más importantes, teniendo en cuenta que el principio fundamental del concreto estructural es resistir las solicitaciones que generan las cargas. Se realizan ensayos destructivos para determinar la resistencia mecánica y establecer un control de calidad sobre lo deseado y lo obtenido, de esta forma se generan las modificaciones deseadas para lograr obtener el diseño de mezcla óptimo, normalmente solo se aplica el ensayo a compresión, ya que de sus resultados se pueden inferir los demás valores característicos de esta resistencia, como lo son el corte y la flexión.

II.5. Resistencia a Compresión

Esta capacidad es la esencial para la realización de los cálculos correspondientes a diseño de estructuras, y se define como una carga axial aplicada en la sección perpendicular del concreto hasta producir la ruptura del mismo, por esta razón es un ensayo destructivo.

Para la determinación de la resistencia a compresión, se entiende como ensayo de resistencia el promedio de las resistencias de al menos dos cilindros hechos de la misma muestra, ensayados a los 28 días o a la edad de ensayo especificada.

Los principales factores que afectan la resistencia, son la relación agua-cemento, compactación, fraguado y curado.

II.6. Juntas de Construcción

Las juntas de construcción son las realizadas en obra, para prever en su mayoría las acciones que se generan en los momentos de paralizado de vaciado, tratando que los planos de separación entre el concreto antiguo y el nuevo queden en zonas donde no se presenten sollicitaciones de importancia, según la norma Venezolana 1753:2006 (Proyecto y construcción de obras en concreto estructural) son premeditadas, sin embargo esto no siempre es cierto en la industria de la construcción, ya que se pueden producir interrupciones que no estén estipuladas en proyecto, generando así una replanificación para solventar el problema que puedan generar estas juntas no concebidas, tomando en cuenta que dichas uniones generan cortes por fricción.

Los concretos de diferentes edades actúan de manera independiente, y cuando sus uniones no son tratadas de la manera adecuada, se altera significativamente el comportamiento de la estructura. Se puede lograr mediante la planificación de las juntas de construcción, darle continuidad al elemento, lograr que se produzcan las transferencias de fuerzas cortantes, utilizarlas como juntas de expiación, etc.

II.7. Adherentes Epóxicos

II.7.1. Antecedentes

Los adhesivos son materiales utilizados para adherir superficies de un material a otra superficie igual o diferente, estos según la historia siempre han estado presentes.

El siguiente listado nos muestra un resumen cronológico (Mahler, 2011).

- 3.000 Millones A.C.: La naturaleza provee los primeros adhesivos. Protocélulas desarrollan una membrana adhesiva, formando colonias de células que habitan los mares. Moluscos bivalvos secretan una sustancia pegajosa en que por reacción con el agua les permite adherirse firmemente a las piedras. El Rocío de sol, una planta carnívora, utiliza un exudado para atrapar los insectos. También las arañas humectan sus telarañas con un adhesivo orgánico.
- 80.000 A.C.: Primeros usos humanos como ligantes para pinturas rupestres a partir de sangre, colágenos y clara de huevo. Refuerzo de elementos constructivos, madera, paja y juncos cementados con arcilla.
- 8.000 A.C.: Se utilizan resinas naturales de los árboles (abedul) para fijar puntas de obsidiana y hueso en armas primitivas. Se producen los primeros adhesivos sobre la base de almidones y colas de hueso y pescado.
- 5.000 A.C.: Culturas de la Mesopotamia emplean asfalto y resinas para asentar mosaicos y calafatear embarcaciones. Las resinas vegetales son los adhesivos más antiguos, como aceite de lino, goma arábiga y el Mastix (resina de pistacho).
- 3500 A.C.: Los egipcios profesionalizan el oficio del “cocinero de colas” (Kellopsos) sobre la base de huesos y pescado. Desarrollan los primeros engrudos con resinas vegetales.

- 1300: Mayas y aztecas mezclaban sangre animal con cemento para construir edificios con óptimos resultados.
- 1500: Látex natural traído por los colonizadores españoles, y usado por indígenas sudamericanos.
- 1700: Primeras fábricas de colas animales para diversos usos.
- 1840: Emisión de los sellos del correo
- 1841: Goodyear descubre la vulcanización del caucho natural. Nacimiento de la química de los adhesivos.
- 1905: Bayer / Bakeland desarrollan paralelamente las primeras resinas fenólicas.
- 1921: Fundamentos de la química macromolecular.
- 1922: Primera patente para resinas base fenol-formaldehído IG-Farben (hoy BASF).
- 1928: Cloruro de polivinilo (PVC) en USA y polimetilacrilato (PMMA) Alemania.
- 1930: Primera producción industrial de polivinilacetato (P.V.A.C.) y de poliacrilonitrilo (PAN).

- 1931: Primeras dispersiones estables de esteres del ácido acrílico ya acetato de vinilo. Comienza la producción de Poli cloropreno (Adhesivo de contacto).
- 1936: Síntesis de las resinas epoxi (Pierre Castan). Endurecimiento rápido de los poliésteres insaturados en combinación con monómero de estireno y peróxidos.
- 1937: Desarrollo de los primeros poliuretanos por poliadición de diisocianatos y polioles.
- 1940: Primera patente (IG-FARBEN) para adhesivo base metacrilato (AGOMET).
- 1941: Comienzo de la producción a gran escala de poliésteres saturados e insaturados.
- 1943: Primer caucho de siliconas para alta temperatura. En USA aparecen las primeras aplicaciones de resinas fenólicas polivinilacetato en formulaciones para adhesivos en las construcción de aviones en Inglaterra (UK). En Alemania se emplean adhesivos epoxi para uniones metálicas en aviones.
- 1946: Comienza la producción industrial de las resinas epoxi, siendo Ciba AG en Basilea -Suiza, uno de los más importantes.
- 1958: Adhesivos a base de dimetilacrilato son introducidos al mercado bajo la marca "LOCTITE".

- 1967: En USA se desarrollan los primeros adhesivos de alta temperatura (hasta 300°C) sobre la base de Poliamidas.
- 1968: Se introducen los primeros Poliuretanos monocomponentes de curado por humedad “SIKAFLEX” y “BETASEAL” para el pegado-sellado de parabrisas y lunetas de automóviles.
- 1970: Desarrollo de adhesivos base poliuretano de 1 y 2 componentes. Sufren los primeros adhesivos curados por UV. Japón desarrolla los primeros polímeros MS (Modified silanes).
- 1980: Se desarrollan adhesivos termofundibles (Hot Melt).
- 1984: Desarrollo de adhesivos anisotrópicos que conducen electricidad entre sustratos metálicos.
- 1988: Comienzan a emplearse adhesivos de alta prestación en la industria automotriz sobre superficies aceitadas (Hemflange bonding) base epoxi mono componentes.
- 1993: Desarrollo de adhesivos aeróbicos de polimerización inducida por el aporte de oxígeno.
- 2000: Comienza la era de los adhesivos reversibles para reparaciones y reciclado.

II.7.2. Uniones Adhesivas

El principio que rige estas uniones es lograr que las fuerzas adhesivas siempre sean mayores que las cohesivas, conociendo esto se puede lograr predecir y evaluar el comportamiento de la unión. Dentro de la construcción se pueden observar fallas en las uniones adhesivas y con frecuencia se deben al desconocimiento de los esfuerzos al que va a estar sometida la unión, por esta razón es necesario tener en cuenta todos los factores que van a influir en este método.

Las uniones adhesivas no solo son afectadas por las tensiones mecánicas, la temperatura también logra tensiones en las uniones que pueden provocar fallas, estas deben ser estudiadas previo a la utilización de los adhesivos para así lograr una situación favorable para la unión, en todo caso se debe planificar la realización de las juntas de construcción logrando evitar los esfuerzos de tracción o cortadura.

En la siguiente figura se muestran los requerimientos a los cuales pueden estar sometidas las uniones adhesivas (Figura II.1).

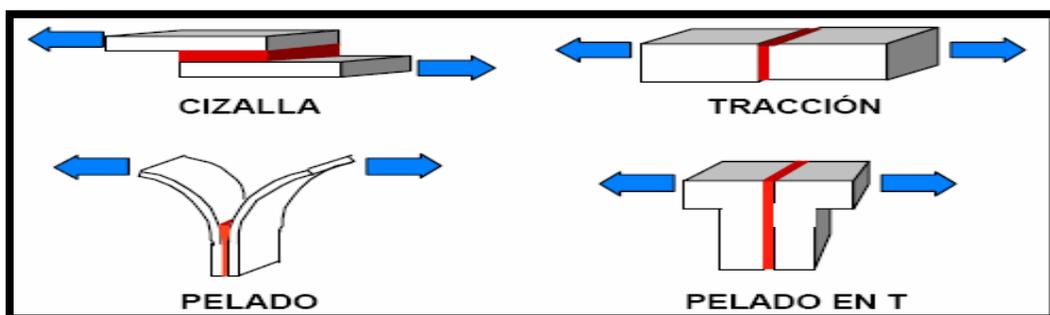


Figura II.1: Requerimiento en uniones adhesivas.
Fuente: Archila (2007).

Luego de establecer todos los parámetros que afectan a la unión, el siguiente paso sería encontrar el adhesivo indicado, de esta forma se garantizaría el comportamiento de la unión, se debe tener la información completa de las propiedades del adhesivo, teniendo en cuenta los principales factores que afectan estas uniones, que son la anchura de la adhesión, longitud de solapamiento y los espesores de adhesivo y sustrato, también se da el caso que cuando se unen dos piezas delgadas, la resistencia de adhesión supera el límite elástico y la resistencia última de los sustratos. Por otra parte la vida útil del adhesivo es determinada por la reacción a la humedad y la resistencia al desprendimiento o separación por tiras.

Las propiedades del adhesivo son proporcionadas por el fabricante, estos datos son presentados en una hoja técnica y cumplen con valores normalizados.

II.7.3. Epóxicos

Los adhesivos epóxicos son bicomponentes en forma de resina y activador, donde la resina representa el adhesivo y el activador sería el endurecedor del mismo, actualmente también se pueden encontrar en monocomponentes, reaccionando el agente endurecedor a altas temperaturas; el diseño de estos adherentes parte de lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas. La ventaja de este producto es que son pegamentos universales y pueden ser utilizados para uniones de cualquier tipo de material constructivo, las resinas epoxi por excelencia cumplen una función líder en adhesivos, llamados estructurales por su condición de termorrígidos, es decir conservan sus propiedades de adhesión y cohesión en una amplia franja de temperaturas.

A diferencia de los adhesivos conocidos habitualmente y generalmente de uso doméstico, diferenciamos a los basados en resinas epoxi por su forma de polimerización, o mejor dicho reticulación, por otra parte la mayoría los epóxicos comercializados en Venezuela cumplen con las normas ASTM C-881:90 (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas).

Los adhesivos epóxicos dentro de la construcción cumplen un papel esencial, ya que estos materiales desarrollan una excelente adherencia alcanzando resistencias a tensión y cortante mayores que las del concreto según Archila (2007), son empleados en reparación de estructuras afectadas, inyección de grietas, anclajes, vinculación de micropilotes con los demás elementos de fundación, continuidad de elementos vaciados por etapas, etc., y su utilización lleva unos 50 años pero han ido evolucionando en el tiempo sin perder ventaja.

III.7.3.4 Epóxicos según la ASTM

La ASTM C881/C881M-02 (Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete), clasifica los epóxicos por tipo, grado, clase y color; establece siete (7) tipos, tres (3) grados, seis (6) clases que están definidas por los tipos y en cuanto al color suele ser sin pigmento pero depende de las indicaciones del fabricante; todas estas características son presentadas en tablas.

Tipo: Están distinguidos por los requerimientos expuestos en tabla (ver Anexo 1).

Tipo I: para la unión de concreto endurecido a endurecido u otro material en aplicaciones que no soportan carga, y como aglutinante en morteros u hormigones epóxicos.

Tipo II: para la unión de mezclas de concreto fresco a concreto endurecido en aplicaciones que no soportan carga.

Tipo III: para la unión de materiales antideslizantes a concreto endurecido y como aglomerante en morteros u hormigones epóxicos utilizados en superficies de tráfico de rodamiento o superficies sujetas a movimientos térmicos o mecánicos.

Tipo IV: para la unión de concreto endurecido a concreto endurecido u otro material en aplicaciones que soportan cargas, y como ligante para morteros y concretos epóxicos.

Tipo V: para la unión de mezclas de concreto fresco a concreto endurecido en aplicaciones que soportan carga.

Tipo VI: para la unión y sellado de elementos prefabricados, segmentos con tendones internos, y cuando se aplica pos tensado temporal con erección período por período.

Tipo VII: para la unión y sellado de elementos prefabricados que no soportan esfuerzos, y cuando se aplica pos tensado temporal sin erección período por período.

Grado: Están distinguidos por su viscosidad y consistencia (ver Anexo 1).

Grado 1: baja viscosidad.

Grado 2: media viscosidad.

Grado 3: consistencia no cedente.

Clase: Tiene que ver con el rango de temperatura para los que son adecuados y esta temperatura es la tomada de la superficie donde se aplicará el epóxico. La clases A, B y C están definidas por del tipo I al V, las clases D, E y F por el tipo VI y VII.

Clase A: para usos con temperatura por debajo de cuarenta grados Fahrenheit (40 °F).

Clase B: para su uso con temperatura entre cuarenta y sesenta grados Fahrenheit (40 °F a 60 °F).

Clase C: para usos con temperatura por encima de los sesenta grados Fahrenheit (60 °F).

Clase D: para usos con temperatura entre cuarenta y sesenta y cinco grados Fahrenheit (40 °F a 65 °F).

Clase E: para usos con temperatura entre sesenta y ochenta grados Fahrenheit (60 °F a 80 °F).

Clase F: para usos con temperatura entre setenta y cinco y noventa grados Fahrenheit (75 °F a 90 °F).

II.8. Modelo de Adhesión Mecánica

Es el primero y más antiguo de todos. Según este modelo, la adhesión se debe a un anclaje del polímero (adhesivo) en los poros y rugosidades superficiales del sustrato. La penetración del adhesivo en la orografía superficial del sustrato provoca que la zona de contacto real entre los dos materiales sea varias centenas de veces superior a la correspondiente a la superficie aparente de contacto. Por tanto, rugosidad y porosidad son factores favorables a la adhesión. Es preciso asegurar una buena humectación del sustrato por el adhesivo, puesto que las cavidades no alcanzadas por el adhesivo constituyen puntos potenciales de iniciación de rotura de la unión adhesiva (Archila Ortiz, 2007).

Se puede decir que uno de los principios que actualmente utilizan en la construcción está relacionado con este modelo, en relación que se genera un plano irregular a la superficie aportando rugosidad entre los elementos de concreto de diferentes edades.

En la siguiente imagen se observa el modelo de adhesión mecánica (Figura II.2).

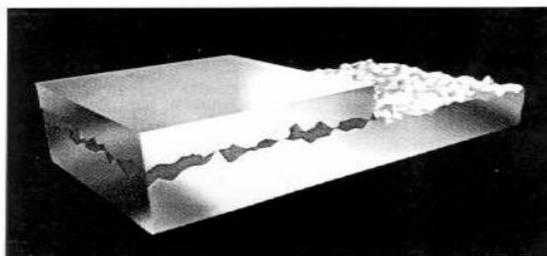


Figura II.2: Modelo de Adhesión Mecánica.
Fuente: Archila (2007).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1. Método

El presente Trabajo Especial de Grado es de tipo experimental, ya que se basa en estudios realizados en laboratorio, ejecutando diferentes ensayos que permitan lograr los objetivos planteados; por otra parte se realiza una investigación teórica previa para lograr afianzar los conocimientos que serán aplicados en el desarrollo del mismo.

III.2. Metodología

III.2.1. Recopilación de Información

Para lograr manejar todas las variables que envuelven el presente proyecto, se debe recopilar la información necesaria referente al adherente epóxico y determinados datos sobre el comportamiento de las uniones de concretos de diferentes edades; los ensayos a ser realizados en el presente trabajo especial de grado no están en su totalidad normalizados por SENCAMER por esta razón se debe indagar en las normas que rigen otros países para constatarlas con el método que se llevara a cabo.

Es necesario el manejo de las normas COVENIN, por esta razón se debe recopilar las ediciones referentes a ensayos destructivos al concreto, ensayos a los agregados y parámetros de aceptación.

La investigación se basará en libros, monografías, informes de investigación, red global de información digital, información suministrada por el IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales), Tecnoconcret C.A.

III.2.2. Adquisición de Materiales

Para la realización de las mezclas de concreto estructural y las uniones que se especifican en los objetivos se debe adquirir los siguientes materiales:

- Cemento (Portland tipo I ó tipo III).
- Agregado fino (arena).
- Agregado Grueso (piedra).
- Agua.
- Adherente Epóxico.
- Tubos PVC de seis pulgadas (6”).

Cada material debe ser transportado y almacenado de manera segura en el IMME, para cerciorar que no haya desperdicio de material o sea afectado por el clima, y a

la hora de realizar el ensayo no exista ninguna eventualidad asociada al manejo de los materiales.

III.2.3. Equipos Necesarios

Para la elaboración de los ensayos, siguiendo los pasos de la norma COVENIN 338:2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, y los ensayos correspondientes a agregados y otros, se debe contar con los siguientes equipos:

- Mezcladora, de ser posible con capacidad de cien (100) litros para realizar la mayor cantidad de mezcla posible por cada uso.
- Cono de Abrams, utilizado para medir el asentamiento.
- Barras compactadoras.
- Cinta métrica.
- Cucharas y paletas de albañilería.
- Balanza, de ser posible con capacidad de cincuenta (50) kilogramos.
- Formaletas cilíndricas de diámetro quince (15) centímetros, y altura treinta (30) centímetros.
- Aceite y Brochas.

- Tanque de curado.
- Vernier.
- Balanza digital.
- Prensa universal, de ser posible prensa hidráulica con lectura universal.
- Nivel de burbuja.
- Tamices.
- Tamizadora mecánica.
- Picnómetro.
- Tronzadora.

III.2.4. Análisis de los Agregados

Para lograr obtener las características de los agregados, importante para realizar el diseño de mezcla adecuado, es necesario realizar una serie de ensayos al agregado fino y grueso.

III.2.4.1. Granulometría del Agregado Fino

Se siguen los lineamientos de la Norma COVENIN 255:1998 (Agregados. Determinación de la composición granulométrica). Los tamices utilizados fueron: #4, #10, #20, #40, #60 y #100. Se aplicará el procedimiento a una muestra de quinientos (500) gramos, secando el agregado antes por veinticuatro (24) horas. Para realizar los gráficos correspondientes se trabajara con la Norma COVENIN 277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos).

III.2.4.2. Granulometría del Agregado Grueso

El procedimiento también será regido por la Norma COVENIN 255:1998 (Agregados. Determinación de la composición granulométrica).

Los tamices a utilizar serán los siguientes: 1½", 1", ¾", ½", 3/8" y ¼". Los mismos son los dispuestos en la tamizadora mecánica. Se utilizara una muestra de veinte (20) kilogramos y al igual que el agregado fino, será secada por veinticuatro (24) horas antes de la aplicación del ensayo.

III.2.4.3. Contenido de humedad, Agregado fino y Agregado Grueso

Se pesará una porción de cada una de las muestra que representará el peso húmedo (W_w), luego se procederá a colocar cada porción en el horno a ciento diez grados centígrados (110 °C) durante veinticuatro (24) horas, se pesarán ambas porciones luego del tiempo determinado y se obtendrá el peso

seco de cada una de las muestras muestra (W_s). Para la obtención de la humedad del material (ω) en porcentaje, se computa la siguiente Ecuación III.1 (Ugas F., 1977), empleando los datos obtenidos:

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100 \quad \text{Ecuación III.1: Cálculo de la humedad.}$$

III.2.4.4. Peso específico y absorción, Agregado Fino

Para la muestra, se usará el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270:1998 (Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos).

Se extenderá la muestra húmeda sobre una superficie plana exponiéndose a una corriente de aire tibio y revolviendo con frecuencia hasta lograr un secado uniforme (Norma COVENIN 268:1998 “Agregado Fino. Determinación de la densidad y absorción”). Se obtendrá el peso de esta muestra saturada y con superficie seca. Luego de este procedimiento, se procederá a pesar el picnómetro lleno de agua. Se introduce la muestra saturada y con superficie seca, y así mismo, se va añadiendo agua hasta un 50%, 75% y 100% de la capacidad del picnómetro.

Para finalizar, se pesará el picnómetro con la muestra y se extrae la muestra, secándola hasta una masa constante y se pesara nuevamente. Para determinar el peso específico saturado con superficie seca (γ_s), se aplica la siguiente Ecuación III.2 (FUNDALANAVIAL, 2003):

$$\gamma_s = \frac{W_1}{(W_a + W - W_p)}$$

Ecuación III.2: Cálculo del peso específico con superficie seca.

Donde:

γ_s : peso específico saturado con superficie seca.

W_a : peso del picnómetro con agua.

W : peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

W_1 : peso en el aire de la muestra seca.

W_p : peso del picnómetro con la muestra y el agua.

Así mismo, para determinar el porcentaje de absorción se aplicará la siguiente Ecuación III.3 (FUNDALANAVIAL, 2003):

$$A\% = \frac{W}{W_1} * 100$$

Ecuación III.3: Cálculo del porcentaje de absorción

Donde:

A : porcentaje de absorción.

W : peso húmedo de la muestra saturada con superficie seca.

W_1 : peso en el aire de la muestra seca.

III.2.4.5. Peso específico y absorción, Agregado Grueso

Se seguirán los procedimientos establecidos en la norma COVENIN 269:1998 "Agregado grueso. Determinación de las densidades y absorción", se tomará una muestra y se sumergirá en agua durante 24 horas para saturar los poros, luego se removerá el agua y se secará la superficie de las partículas y determinando así su masa.

Posteriormente, se sumergirá en agua la muestra, se tomará el peso de la muestra en el agua a temperatura de 23°C aproximadamente, pero preliminar a esto se agitará dicho recipiente para eliminar el aire atrapado.

Finalmente, se seca al horno y se vuelve a pesar. Con los valores que se obtendrán y aplicando las ecuaciones establecidas en la norma, se determinarán las diferentes densidades y la absorción.

Para determinar el peso específico saturado con superficie seca (γ_s), se aplicará la siguiente Ecuación III.4 (FUNDALANAVIAL, 2003):

$$\gamma_s = \frac{W_2}{(W_2 - W_3)} \quad \text{Ecuación III.4: Cálculo del peso específico con superficie seca}$$

Donde:

γ_s : peso específico saturado con superficie seca.

W_2 : peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

W_3 : peso en el agua de la muestra saturada.

El porcentaje de absorción (A) viene dado por la siguiente Ecuación III.5:

$$A\% = \frac{W}{W_1} * 100 \quad \text{Ecuación III.5: Cálculo del porcentaje de absorción}$$

Donde:

A%: porcentaje de absorción expresado en porcentaje.

W: peso húmedo de la muestra saturada con superficie seca.

W_1 : peso en el aire de la muestra seca.

III.2.4.6. Peso unitario suelto y compacto, Agregado Fino y Grueso

Se determinará el peso unitario de los agregados de acuerdo a la Norma COVENIN 263:1978 (Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado). Para la determinación del peso unitario suelto se dejará caer la muestra de cada material sobre cada recipiente normalizado y se llenará hasta el tope, tomando la medida del peso. Asimismo, para la determinación del peso unitario compacto, se procederá a llenar el recipiente (el volumen del recipiente deberá ser calculado) en tres capas compactadas a 25 golpes con la barra de metal, y enrasando al final para luego tomar su peso.

III.2.4.7. Resistencia al desgaste del agregado grueso

Para obtener la resistencia al desgaste del agregado grueso se realizará el ensayo de desgaste llamado también ensayo de Los Ángeles, de acuerdo a la Norma COVENIN 266:1977 (Método de Ensayo para la Resistencia al Desgaste en Agregados Gruesos Menores de 38.1 mm (1 ½”) por medio de la Máquina de los Ángeles)

Para la determinación de la resistencia al desgaste se tomará una muestra representativa del agregado grueso, de acuerdo con su granulometría el ensayo dicta el número de esferas que se utilizarán y el número de vueltas.

III.2.5. Diseño de Mezcla

Luego que se obtengan los resultados de los agregados, es posible realizar el diseño de mezcla, esta deberá satisfacer los criterios de diseño del presente Trabajo Especial de Grado. Se utilizará el método de diseño propuesto según Porrero, Ramos, Grases y Velazco (2009), el cual es un método probado en laboratorios y plantas de preparación comercial de concreto con excelentes resultados.

Este método considera variables como: trabajabilidad, dosis de cemento, relación agua/cemento, resistencia; y tiene como ventaja que no impone limitaciones a la granulometría ni a las proporciones de combinación de los agregados.

Se llevaran a cabo los siguientes procedimientos:

- Se calculará la resistencia promedio requerida según la Norma COVENIN 1753:06, CAPÍTULO 5.4.2 (Proyecto y construcción de obras en concreto estructural) (ver Ecuación III.6).

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1.34 * \bar{s} \quad \text{Ecuación III.6: Resistencia promedio requerida,}$$

para $f'_{c} < 350 \text{ kgf/cm}^2$.

Donde:

f'_{c} : Resistencia a compresión.

\bar{s} : Desviación estándar.

- Se determinará la relación agua/cemento (α) mediante la Ecuación III.7.

$$\alpha = 3.147 - 1.065 * \text{Log } R_{28} \quad \text{Ecuación III.7: Relación agua/cemento.}$$

Donde:

R_{28} : f'cr.

- La relación agua/cemento será corregida con el tamaño máximo (K_R) y el tipo de agregado (K_A) que sean utilizados, se utilizara la Ecuación III.8.

$$\alpha_c = \alpha * K_R * K_A \quad \text{Ecuación III.8: Relación agua/cemento corregida.}$$

- Se definirá un asentamiento (T) que sea acorde a las necesidades de la presente investigación.
- Luego se calculara la cantidad de cemento necesario tomando en cuenta la relación triangular (Ecuación III.9).

$$C = 117.2 * \frac{T^{0.16}}{\alpha_c} \quad \text{Ecuación III.9: Cantidad de cemento.}$$

- La cantidad de cemento será corregida mediante la Ecuación III.10.

$$C_c = C * C_1 * C_2 \quad \text{Ecuación III.10: Cantidad de cemento corregida.}$$

Donde:

C_1 : Factor corrección tamaño máximo.

C_2 : Factor corrección tipo de agregado.

- Se estimaran el volumen de aire con la Ecuación III.11.

$$V = \frac{C_c}{T_m} \quad \text{Ecuación III.11: Volumen de agua.}$$

Donde:

T_m : Tamaño máximo del agregado grueso.

- Se estimará la cantidad de agua con la Ecuación III.12.

$$a = C_c * \alpha_c \quad \text{Ecuación III.12: Cantidad de agua estimado.}$$

- Luego se procederá a calcular la cantidad de agregados, primero se define β (contenido de arena en relación con el agregado total) mediante la Ecuación III.13.

$$\beta = \frac{A}{(A+G)} \quad \text{Ecuación III.13: Relación } \beta.$$

- Peso específico de los agregados combinados (Ecuación III.14).

$$\gamma_{(A+G)} = \gamma_G * (1 - \beta) + \gamma_A * \beta \quad \text{Ecuación III.14: Peso específico de los agregados combinados.}$$

- Cantidad total de agregados (Ecuación III.15).

$$A + G = \gamma_{(A+G)} * (1000 - 0.3 * C_c - a - V) \quad \text{Ecuación III.15: Total de agregados.}$$

- Se calculará la cantidad de agregado fino con la Ecuación III.16.

$$A = (A + G) * \beta \quad \text{Ecuación III.16: Cantidad agregado fino.}$$

- La cantidad de agregado grueso se calculará mediante la Ecuación III.17.

$$G = (A + G) * (1 - \beta) \quad \text{Ecuación III.17: Cantidad de agregado grueso.}$$

- Luego se calculará el peso saturado con superficie seca del agregado fino y grueso para luego realizar la corrección por humedad. (Ecuación III.18 y III.19).

$$A_{SSS} = \frac{A*(100+Ab_A)}{100+W_A} \quad \text{Ecuación III.18: Peso saturado con superficie seca del agregado fino.}$$

Donde:

A: Peso húmedo del agregado fino.

Ab_A: Absorción del agregado fino.

W_A: Humedad del agregado fino.

$$G_{SSS} = \frac{G*(100+Ab_G)}{100+W_G} \quad \text{Ecuación III.19: Peso saturado con superficie seca del agregado grueso.}$$

Donde:

G: Peso grueso del agregado húmedo.

Ab_G: Absorción del agregado grueso.

W_G: Humedad del agregado grueso.

- Para finalizar se calculará la cantidad de agua corregida por humedad que se utilizara para la realización de la mezcla, de acuerdo a la Ecuación III.20.

$$a_m = a + (A_{sss} - A) + (G_{sss} - G) \quad \text{Ecuación III.20: Cantidad de agua para la mezcla.}$$

Donde:

a = Cantidad de agua estimada.

Se realizarán cinco cilindros (5) testigos para verificar que cumpla con los requerimientos, los mismo serán elaborados cumpliendo con la norma COVENIN 0338:02 (Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto).

III.2.6. Procedimiento en laboratorio de Concreto

Serán explicados a continuación todos los procedimientos que se realizarán dentro del laboratorio, cumpliendo con los parámetros establecidos en los objetivos específicos.

III.2.6.1. Fabricación de formaletas

Los ensayos serán realizados siguiendo la norma ASTM C882/C882M:05 “Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear”, (Resistencia de la unión de los sistemas de epoxi-resina utilizados con concreto empleando un corte oblicuo), para que se logre

hacer el corte oblicuo con treinta grados (30°) que especifica la norma, las formaletas serán elaboradas con tubos de PVC y de tamaño diferente, pero cumpliendo con la relación base y altura, como se muestra en la figura III.1.

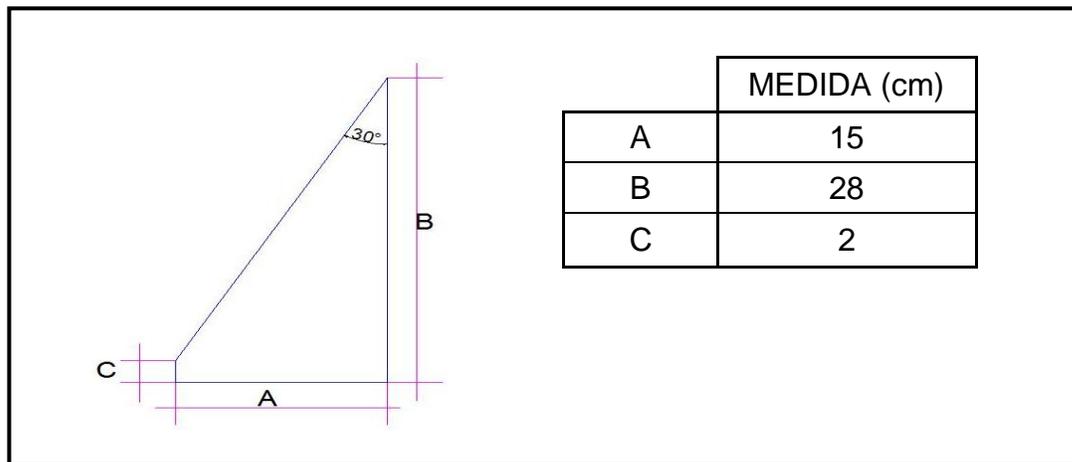


Figura III.1: Dimensiones de Formaletas

Fuente: Elaboración propia.

III.2.6.2. Mezclas

Se realizarán las mezclas siguiendo la norma COVENIN 354:2001 (Concreto. Método para mezclado en el laboratorio), como se muestra a continuación:

- Se pesará el material de acuerdo a lo especificado en el diseño de mezcla.
- En la mezcladora con eje de inclinación variable y capacidad de ciento diez (110) litros, se colocarán primeramente el agregado grueso y fino con un tercio de la cantidad total del agua.

- Se mezclarán los agregados con el agua para hidratar y luego se incorporará el cemento con el resto del agua.
- Se dejarán mezclando por unos cuatro (4) minutos y en ese tiempo se realizará el ensayo de cono de Abrams.

III.2.6.3. Ensayo Cono de Abrams

Para controlar el asentamiento se realizará el ensayo cono de Abrams, de acuerdo a la norma COVENIN 0339:2003 (Concreto. Método Para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams).

- Inicialmente se humedece el cono de Abrams y se coloca en una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente.
- El molde se sujeta firmemente por las aletas con los pies y se llena con la mezcla de concreto, vaciando ésta en tres capas cuyos espesores poseen aproximadamente un tercio del volumen.
- Se compacta cada capa dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada.
- Luego se enrasa utilizando la misma barra compactadora.
- Inmediatamente se retira el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical evitando movimientos laterales.

- El asentamiento se mide después de alzar el molde tomando la diferencia de altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado como se muestra en la figura III.2.



Figura III.2: Cono de Abrams
Fuente: Elaboración propia.

III.2.6.4 Elaboración de Las Probetas, Etapa 1

Se realizarán cinco (5) probetas cilíndricas para ser sometidas a ensayos de compresión, y se elaborarán según la norma COVENIN 0338:2002 (Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto), las dimensiones del molde normalizado son de 152.5 ± 5.5 mm de diámetro y 305 ± 6 mm de altura. Estas probetas serán las primeras testigos del Trabajo Especial de Grado. La actividad se desarrollara en el Laboratorio de Concreto Fresco del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela, como se indica a continuación:

- Se engrasará la superficie interna del molde.

- Se colocará sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente.
- Se realizará el vaciado en tres (3) capas y compactando cada una a veinticinco (25) golpes.
- Se engrasará la superficie hasta quedar completamente lisa.
- Se dejarán las probetas en el molde veinticuatro (24) horas y se procederá a desencofrar y someter a curado, por siete (7) días para luego ser ensayadas a compresión.

III.2.6.5. Elaboración de Las Probetas, Etapa 2

En esta etapa se realizarán las probetas que corresponderán al concreto endurecido con el modelo de formaleta que se mostro en la figura III.1, se realizará el vaciado siguiendo la norma ASTM C882/C882M -05 (Resistencia de la unión de los sistemas de epoxi-resina utilizados con concreto empleando un corte oblicuo), aplicando el procedimiento a continuación:

- Se engrasará la superficie interna del molde (molde PVC con las dimensiones mostradas en la figura III.1).
- Se coloca sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente.
- Se realizará el vaciado en tres (3) capas y compactando cada una a veinticinco (25) golpes.

- Se enrasará la superficie hasta quedar completamente lisa y en el caso del método Plano Irregular, se realizará un acabado no uniforme utilizando pitillos vaciados con lechada y una vara de bambú para lograr rigidez.
- Se dejarán las probetas en el molde veinticuatro (24) horas y se procederá a desencofrar y dependiendo del método se procederá al curado o a la unión con el nuevo concreto.

Este procedimiento se aplicará para todas las probetas que se señalan en la tabla III.1.

Cantidad de Probetas		
Método	Probetas unidas a las 24 horas	Probetas unidas a los 7 días
Uniones Simple	5	5
Uniones con plano irregular	5	5
Uniones con epóxico	5	5
Uniones, plano irregular+epóxico	5	5

Tabla III.1: Cantidad de probetas por método.
Fuente: Elaboración propia.

III.2.6.6. Elaboración de Probetas, Etapa 3

En esta etapa se realizará el vaciado del concreto fresco sobre el concreto endurecido (probetas elaboradas en la Etapa 2, III.2.6.5) y las uniones se realizarán en conformidad a la Tabla III.1.

III.2.7. Ensayos de Compresión

Se ensayarán a compresión todos los cilindros elaborados en la Etapa 1 y 3 a los siete (7) días; las superficies de las probetas serán refrentadas, se le colocará una capa de yeso dental (Caping) para garantizar que los esfuerzos aplicados se distribuyan uniformemente; para lograr que las caras queden paralelas se utilizara un nivel de burbuja. Luego las probetas se pesarán tres (3) veces y se medirán tres (3) alturas y tres (3) diámetros, Los cilindros se colocan en la máquina de compresión, centrados cuidadosamente y se comprimen.

Se realizarán los ensayos según lo especificado en la norma COVENIN 338:2002 (Concreto. Método para la elaboración, curado, y ensayo a compresión de cilindros de concreto). Las probetas serán sometidas a esfuerzos hasta su ruptura, teniendo en cuenta que la carga a compresión actúa perpendicular a la superficie del asiento.

Se tomará nota de los esfuerzos a los cuales falló la probeta y la carga correspondiente. Se observarán las formas de falla que presenten las probetas para compararlos con las fallas características de los ensayos a compresión (ver figura III.3).

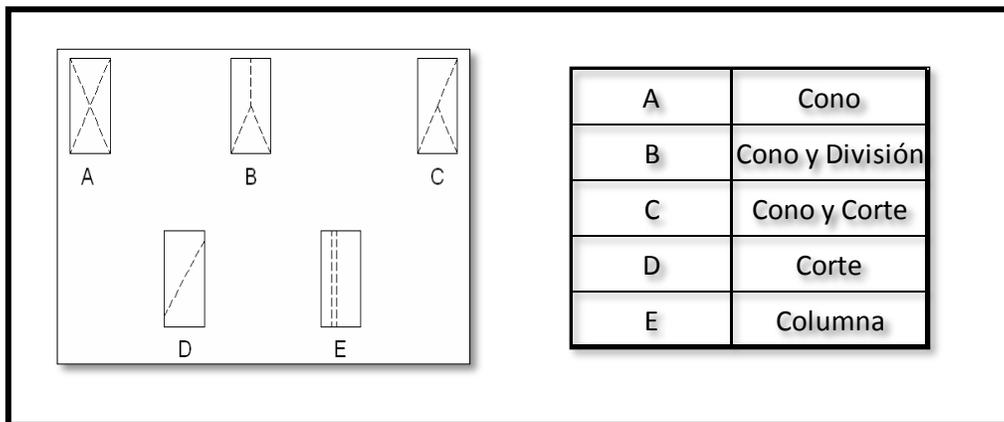


Figura III.3: Fallas Características
Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a la compresión de cada cilindro se determina como el cociente entre la carga máxima y el área de la sección media del cilindro, como lo indica la Ecuación III.21.

$$R_c = \frac{P_{\max}}{A_i} \quad \text{Ecuación III.21: Resistencia a la compresión.}$$

Donde:

R_c = Resistencia a compresión kgf/cm^2 .

P = Carga máxima aplicada, kgf .

A = Área de la sección transversal del cilindro, cm^2 .

Para la obtención de la resistencia de la adhesión se utilizara la Ecuación III.22, que relaciona la carga máxima aplicada con el área de unión de los concretos.

$$R_a = \frac{P_{\max}}{A_e} \quad \text{Ecuación III.22: Resistencia de Adhesión.}$$

Donde:

Ra: Resistencia adhesión.

Pimax: Carga máxima aplicada, kgf

Ae: Área de unión (elipse).

El promedio de las resistencias de los cilindros se determina como lo indica la Ecuación III.23.

$$R_c = \frac{\sum R_{ci}, R_a}{5}$$

Ecuación III.23: Promedio de la resistencia a la compresión.

III.2.8. Presentación de Resultados

Los resultados serán expuestos en el Capítulo IV “Resultados” del presente Trabajo Especial de Grado, siguiendo con el orden establecido en el presente Capítulo. Los mismos serán expresados con figuras, gráficas y tablas características para cada método.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV.1. Adquisición de materiales

El Cemento adquirido fue Portland tipo III de alta resistencia, marca CEMEX VENEZUELA, suministrado por la ferretería “El Cafetal”, ubicada en la calle Santa Ana, El Cafetal- Caracas (Figura IV.1). Por otra parte la piedra picada fue donada por la contratista que realizaba remodelaciones en el puente frente al Instituto Clínico ubicado en la Universidad Central de Venezuela y la misma era proveniente de la cantera nacional, la arena (Figura IV.2) fue suministrada por la Arenera Puente-Aria ubicada en Guatire.



Figura IV.1: Cemento Portland Tipo III.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.2: Arena.
Fuente: Elaboración propia.

El epóxico consignado fue una donación de TECNOCONCRET C.A., empresa venezolana especializada en productos y servicios para la construcción e industria. El adherente epóxico tiene por nombre Epocret IR (ver Anexo 2), y viene en presentación de medio (1/2) y dos (2) galones (juego de resina más secante). El utilizado en el presente Trabajo Especial de Grado es el juego de dos (2) galones (ver Figura IV.3).



Figura IV.3: Epocret IR.
Fuente: Elaboración propia.

Los tubos P.V.C. fueron adquiridos en Diploelca Plomería y Electricidad, ubicado en la avenida Rómulo Gallegos, calle Chacao, urbanización Horizonte, estos vienen en presentación de tres metros (3m) (ver Figura IV.4).



Figura IV.4: Tubo P.V.C.
Fuente: Elaboración propia.

Todos los materiales fueron almacenados en el laboratorio de mezclas del IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales), la arena y la piedra se colocaron en sacos para su fácil traslado y almacenamiento (ver Figura IV.5). Todos los materiales fueron ubicados de manera segura y protegidos de la intemperie.



Figura IV.5: Arena colocada en sacos.
Fuente: Elaboración propia.

IV.2. Análisis de los agregados

A continuación se presentarán los resultados arrojados por los ensayos aplicados a los agregados, descritos en el Capítulo III del presente Trabajo Especial de Grado.

IV.2.1. Granulometría agregado fino

Siguiendo los procedimientos mencionados previamente (ver Figura IV.6), la granulometría es la expresada mediante la Gráfica IV.1 y los datos que la conforman son los señalados en la Tabla IV.1.

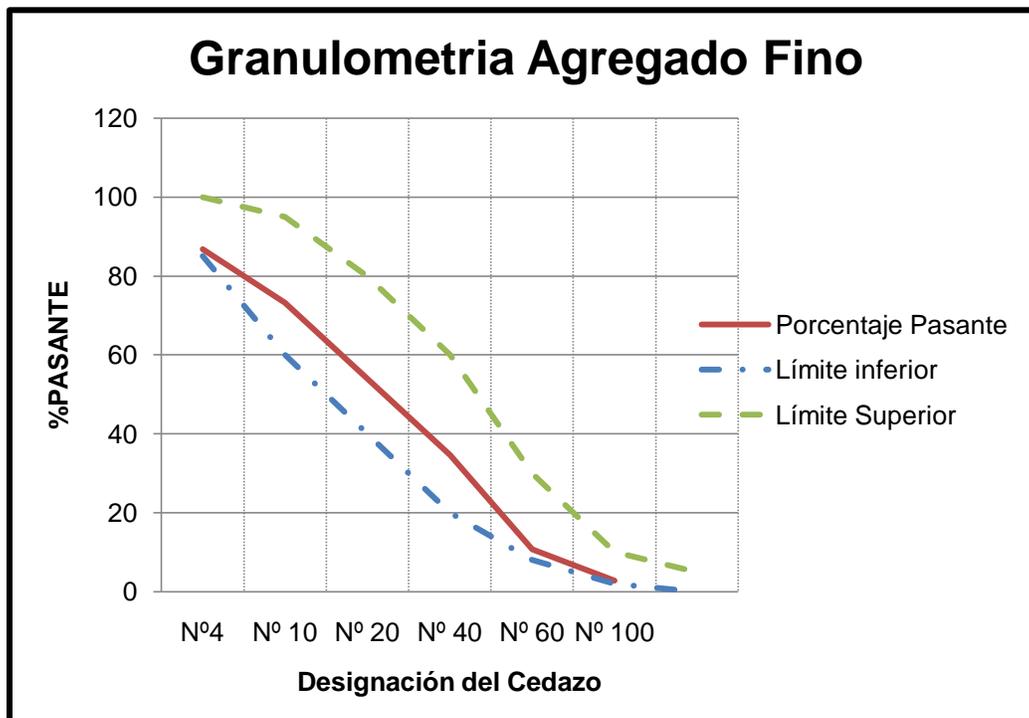


Figura IV.6: Tamizado del agregado fino.
Fuente: Elaboración propia.

Granulometría del Agregado Fino				
Tamiz	Tamaño tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje pasante
Nº4	4,760	66	13,2	86,8
Nº 10	2,000	68	13,6	73,2
Nº 20	0,840	96	19,2	54,0
Nº 40	0,420	97	19,4	34,6
Nº 60	0,300	119	23,8	10,8
Nº 100	0,149	40	8,0	2,8
Fondo		14	2,8	

Tabla IV.1: Granulometría agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica IV.1: Granulometría agregado fino.

Formato: Elaboración propia.

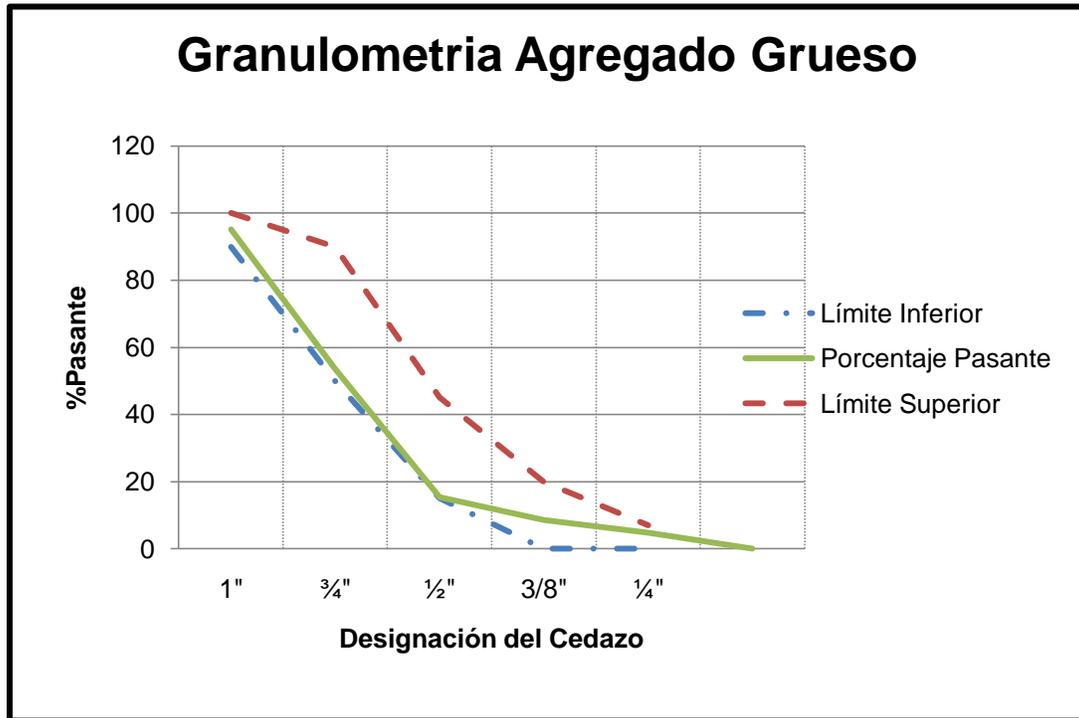
Por medio de la gráfica de granulometría se puede observar que el agregado fino se encuentra entre los límites superior e inferior estipulados por la Norma COVENIN 0277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos), por esta razón se considera adecuado para su utilización en mezclas de concreto estructural (ver Anexo 3).

IV.2.2. Granulometría agregado grueso

La granulometría del agregado grueso se expresa de forma análoga a los resultados del agregado fino, se muestran la Tabla IV.2 con los datos que conforman la Gráfica IV. 2 (ver Figura IV.7).

Granulometría del Agregado Grueso				
Tamiz		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido	Porcentaje Pasante
1"	25,40	980	4,85	95,15
¾"	19,00	8581	41,62	53,54
½"	12,70	7854	38,1	15,43
3/8"	9,51	1491	6,89	8,54
¼"	6,35	760	3,69	4,86
FONDO		999	4,85	0,00

Tabla IV.2: Granulometría agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica IV.2: Granulometría agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.7: Tamizadora Mecánica.
Fuente: Elaboración propia.

El agregado grueso por su parte también cumple con el límite superior e inferior establecido por la Norma COVENIN 0277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos) siendo así adecuado para su utilización en mezclas de concreto estructural (ver Anexo 4).

IV.2.3. Contenido de humedad agregado fino y grueso

Utilizando la Ecuación III.3 establecida en el Capítulo III, se obtuvo el contenido de humedad de ambos agregados y los resultados son expresados en las Tablas IV.3 y IV.4.

Humedad Agregado Fino		
Peso Húmedo W_w (g)	Peso Seco W_s (g)	Humedad ω (%)
500	486	2.88

Tabla IV.3: Humedad agregado fino.
Fuente: Elaboración propia.

Humedad Agregado Grueso		
Peso Húmedo W_w (g)	Peso Seco W_s (g)	Humedad ω (%)
5000	4870	2.67

Tabla IV.4: Humedad agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados arrojados por los ensayos y cálculos son tomados como ciertos, ya que los agregados se encontraban en condiciones regulares cuando fueron adquiridos, ambos agregados se presentaban en buen estado y no hubo necesidad de someterlos a limpieza.

IV.2.4. Peso específico y absorción del agregado fino

Se mostrarán los resultados de los ensayos y cálculos realizados en la Tabla IV.5 y Tabla IV.6.

Peso Especifico Saturado con Superficie Seca Agregado Fino				
W_1 (g)	W (g)	W_a (g)	W_p (g)	γ_s
486	500	1250	1551	2,44

Tabla IV.5: Peso saturado con superficie seca del agregado fino.
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

γ_s = peso específico saturado con superficie seca

W_a = peso del picnómetro con agua

W = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca

W_1 = peso en el aire de la muestra seca

W_p = peso del picnómetro con la muestra y el agua

Porcentaje de Absorción del Agregado Fino		
W (g)	W_1 (g)	%A
500	486	2,88

Tabla VI.6: Porcentaje de absorción del agregado fino
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A = porcentaje de absorción

W = peso húmedo de la muestra saturada con superficie seca

W_1 = peso suelo seco saturada con superficie seca.

El agregado fino muestra por medio de su peso específico el volumen absoluto que ocupará el agregado dentro de la mezcla. Por otra parte se puede controlar mediante su absorción el contenido de agua en el concreto, es decir, que los resultados arrojados son de gran importancia para la elaboración del diseño de mezcla.

IV.2.5. Peso específico y absorción del agregado grueso

Se puede observar los resultados arrojados por los ensayos y cálculos aplicados en el agregado grueso en las Tablas VI.7 y VI.8.

Peso Especifico Saturado con Superficie Seca Agregado Grueso		
W_2 (g)	W_3 (g)	γ_s
5000	3083	2,61

Tabla IV.7: Peso especifico saturado con superficie seca del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

γ_s = peso específico saturado con superficie seca

W_2 = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

W_3 = peso en el agua de la muestra saturada.

Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso		
W (g)	W_1 (g)	%A
5000	4870	2,67

Tabla IV.8: Porcentaje de absorción del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A% = porcentaje de absorción expresado en porcentaje

W = peso húmedo de la muestra saturada con superficie seca

W₁ = peso suelo seco saturada con superficie seca.

Igualmente los resultados del peso específico y absorción del agregado grueso son utilizados para la elaboración del diseño de mezcla y los mismos jugarán un papel importante en el contenido de agua que necesita la mezcla.

VI.2.6. Peso unitario suelto y compacto, Agregado Fino y Grueso

Como se presenta a continuación las Tablas IV.9 y VI.10, expresan los resultados del peso unitario obtenidos de los ensayos realizados al agregado fino y grueso.

Peso Unitario Suelto y Compacto del Agregado Grueso				
Volumen (dm ³)	Peso (kg)	Peso compactado (kg)	Peso unitario compacto(kg/dm ³)	Peso unitario suelto(kg/dm ³)
14400	28,40	30,70	2,13	1,97

Tabla IV.9: Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Peso Unitario Suelto del Agregado Fino				
Volumen (dm ³)	Peso (kg)	Peso compactado (kg)	Peso unitario compacto(kg/dm ³)	Peso unitario suelto(kg/dm ³)
28,58	49,42	51,54	1,80	1,73

Tabla IV.10: Peso unitario suelto del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites usuales según Porrero (2009) en la Tabla III.7 “Valores Usuales De Las Relaciones Peso/Volumen De Los Agregados No Livianos” (Capítulo III, Agregados.), los valores dieron ligeramente por encima de los límites expuestos, de igual forma fueron aceptados ya que los límites corresponden a valores usuales.

IV.2.7. Resistencia al desgaste del agregado grueso

Para determinar la cantidad de esferas de acero que se necesitaron para aplicar el ensayo de Los Ángeles, se utilizó la Tabla IV.12, donde mediante la granulometría del agregado grueso se clasifica el agregado en A, B, C ó D. En este caso resultó ser el C, y el número de esferas que se utilizaron fueron ocho (8). Por otra parte los resultados arrojados por el ensayo están expresados en la Tabla IV.11.

Resultado Ensayo Los Ángeles		
Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de Desgaste
5000	3033	39

Tabla IV.11: Resultados ensayo Los Ángeles.
Fuente: Elaboración propia.

Clasificación del Agregado					
TAMAÑO DEL CEDAZO		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
PASA	RETENIDO EN	A	B	C	D
38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	1250 ± 25			
25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25			
19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")			2500 ± 10	
6,35 mm (1/4")	4,76 mm (#4)			2500 ± 10	
4,76 mm (#4)					5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
N° de Esferas		12	11	8	6

Tabla IV.12: Clasificación del agregado.
Fuente: Elaboración propia.

IV.3. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla fue elaborado a partir de las necesidades del presente Trabajo Especial de Grado y de las características de los agregados. En este caso se trabajó con un Tamaño Máximo de una y media pulgada (1 1/2").

En la Tabla IV.13 se puede observar los resultados de la Resistencia Requerida (f'_{cr}).

Resistencia Requerida del Concreto		
Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)	Desviación Estándar (\bar{s})	Resistencia Requerida f'_{cr} (Kg/cm ²)
280	95	375

Tabla IV.13: Resistencia requerida del concreto.
Fuente: Elaboración propia.

Luego se calculó la relación agua/cemento y la misma fue corregida, se expresan los resultados en la siguiente Tabla IV.14.

Relación Agua Cemento	
Relación Agua Cemento (α)	Relación Agua Cemento Corregida (α_c)
0,406	0,394

Tabla IV.14: Relación agua/cemento.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla IV.15 se puede observar los resultados de la cantidad de cemento a ser utilizado en la mezcla.

Asentamiento T (cm)	Cantidad de Cemento (Kg/m ³)	Cantidad de Cemento Corregida (kg/m ³)
7,5	43	505

Tabla IV.15: Cantidad de cemento.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla IV.16 se muestran los resultados de volumen de aire y cantidad de agua estimada en función de la cantidad de cemento corregida, el tamaño máximo del agregado y la relación “ α ” corregida.

Volumen de Aire y Cantidad de Agua	
Volumen de Aire V (l/m ³)	Cantidad de Agua Estimada α (Kg/m ³)
19,88	199

Tabla IV.16: Volumen de aire y cantidad de agua.
Fuente: Elaboración propia.

La relación “ β ” y el peso específico de los agregados combinados, son señalados en la Tabla IV.17.

Relación Beta y Peso Especifico Combinado	
β	$\gamma_{(A+B)}$
0,525	2,521

Tabla IV.17: Relación beta y peso especifico combinado.
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla IV.18 expone la cantidad de agregado fino y grueso necesaria para un metro cúbico de mezcla de concreto.

Cantidades de los Agregados	
A (Kg/m ³)	G (kg/m ³)
824	746

Tabla IV.18: Cantidades de los agregados.
Fuente: Elaboración propia.

Para la corrección de la cantidad de agua, se calcularon los pesos saturados con superficie seca de cada agregado, estos se muestran en la Tabla IV.19.

Peso Saturado con Superficie Seca	
Asss (kg)	Gsss (kg)
0.5	5

Tabla IV.19: Peso saturado con superficie seca del agregado fino y grueso.
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Asss: Peso saturado con superficie seca del agregado fino.

Gsss: Peso saturado con superficie seca del agregado grueso.

Como se puede observar la cantidad de agua no se ve modificada por el contenido de humedad ya que los pesos saturados con superficie seca son los mismos que se obtuvieron en los ensayos.

En la Tabla IV.20 se expresan las cantidades necesarias para la realización de un metro cúbico (m^3) de concreto estructural (resistencia 280 Kgf/cm^2).

Diseño de Mezcla para 1 m ³ de Concreto ($f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$)		
Componente	Peso (kgf/m ³)	Volumen Absoluto (litros/m ³)
Cemento	505	152,00
Agua	198	198,00
Arena	824	337,00
Grueso	746	293,00
Aire	-	19,88
TOTAL	2273	1000

Tabla IV.20: Diseño de mezcla.
Fuente: Elaboración propia.

IV.4. Fabricación de formaletas.

Los tubos PVC fueron cortados cada treinta centímetros (30 cm) y luego se cortaron con el ángulo correspondiente (30°), estos cortes fueron realizados con la tronzadora existente en el IMME (ver Figura IV.8, IV.9 y IV.10).



Figura IV.8: Medidas cada 30 cm.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.9: Cortes de tubo PVC con tronzadora.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.10: Formaletas terminadas.
Fuente: Elaboración propia.

IV.5. Mezcla

Se realizaron mezclas tanto en la mezcladora con eje vertical como en la mezcladora con eje inclinado, ya que hubo días que sólo se requería vaciar 5 probetas. En el momento de realizar la mezcla para vaciar las cinco (5) probetas testigos, en el laboratorio de concreto del IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales) se utilizó la mezcladora con eje (ver Figura IV.11 y IV.12).



Figura IV.11: Mezcladora de eje vertical.
Fuente: Elaboración propia



Figura IV.12: Mezcladora de eje inclinado.
Fuente: Elaboración propia.

IV.5.1. Cono de Abrams

El asentamiento fue medido durante la realización de las mezclas. La cantidad de agua se incrementó ligeramente en relación a la teórica, todo esto con el objetivo de mantener la trabajabilidad que se deseaba. En la Figura IV.13 se observa la medición del asentamiento.



Figura IV.13: Medición de asentamiento.
Fuente: Elaboración propia.

IV.6. Elaboración de probetas, Etapa 1

En esta etapa se realizaron las cinco (5) probetas testigos, se utilizaron los tubos PVC de seis pulgadas (6") cortados a treinta centímetros (30 cm). Se enceraron las formaletas y se vaciaron en tres (3) capas, no hubo mayor inconveniente para la realización de los mismos, se desencofraron a las veinticuatro (24) horas y se sometieron al curado por siete (7) días (ver Figura IV.14).



Figura IV.14: Probetas Testigo.
Fuente: Elaboración propia.

IV.7. Elaboración de probetas, Etapa 2

Las probetas que se vaciaron en esta etapa fueron elaboradas sobre una tabla de fórmica y las formaletas se colocaron en grupos de tres (3) por cada tabla, esto con la intención de facilitar el vaciado (ver Figura IV.15).



Figura IV.15: Formaletas Etapa 2.
Fuente: Elaboración propia.

Las tablas fueron colocadas con un grado de inclinación para asegurar la horizontalidad de la base de la formaleta y éstas fueron ancladas con alambre (ver Figura IV.16).



Figura IV.16: Anclaje de las formaletas, Etapa 2.
Fuente: Elaboración propia.

Para lograr la superficie irregular se utilizaron pitillos llenos de lechada y varas de bambú, colocados en la superficie de la tabla donde se realizó el vaciado (ver Figura IV.17), también se puede observar que se colocó una guía en la parte baja de cada probeta.



Figura IV.17: Superficie irregular.
Fuente: Elaboración propia.

Estos moldes fueron engrasados y luego vaciados (ver Figura IV.18 y IV.19). Se desencofraron a las veinticuatro (24) horas y se utilizó una segueta para realizar el corte al tubo PVC (ver Figura IV.20 y IV.21).



Figura IV.18: Enrasado de probetas, Etapa 2.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.19: Fraguado Etapa 2.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.20: Probetas Etapa 2.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.21: Desencofrado de formaletas, Etapa 2.
Fuente: Elaboración propia.

IV.8. Elaboración de las probetas, Etapa 3

En esta etapa se vació el concreto fresco sobre las probetas de concreto endurecido. Las probetas que fueron unidas con el epóxico se sacaron del curado 10 horas antes para que la superficie se secase parcialmente (ver Figura IV.22), luego las formaletas completas fueron engrasadas y se colocaron los cilindros de concreto endurecido en su interior, luego fue vaciado el concreto fresco sobre éstos (ver Figura IV.23).



Figura IV.22: Secado de la superficie de las probetas.
Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.23: Preparación de probetas, Etapa 3.
Fuente: Elaboración propia.

En conformidad con la Tabla III.1 las probetas donde no se utilizaba el epóxico fueron rápidamente vaciadas, en cambio las que eran unidas con el epóxico se tomaron un poco más de tiempo ya que se necesitó la preparación del epóxico y su colocación es minuciosa. Las recomendaciones del fabricante especifican la utilización de un agitador eléctrico de bajas revoluciones para realizar el mezclado de los componentes “A” y “B”, ya que se utilizaron pequeñas cantidades, el mezclado se hizo manual (simulando lo que se realiza en obra). En todo momento el epóxico fue manipulado con el equipo de seguridad necesario.

Pasadas las veinticuatro (24) horas, las probetas fueron desencofradas (ver Figura IV.24), se utilizó la tronzadora para cortar el PVC (ver Figura IV.25), luego se sometieron al curado; los concretos unidos con epóxico se curaron de manera manual colocándole agua diariamente (ver Anexo 5).



Figura IV.24: Probeta Etapa 3, desencofrada.

Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.25: Desencofrado de las probetas, Etapa 3.
Figura: Elaboración propia.

IV.9. Ensayos a Compresión

Primeramente todas las probetas fueron refrentadas utilizando yeso dental como se muestra en la Figura IV.26, de esta forma se logro el paralelismo entre las caras del cilindro (ver Anexo 6). Siguiendo los procedimientos establecidos en la norma COVENIN 0338:02 (Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto) luego de realizar el refrentado se procedió a tomar las medidas y peso de cada cilindro.



Figura IV.26: Refrentado de las probetas.
Fuente: Elaboración propia.

Los cilindros fueron sometidos a compresión en la prensa digital (marca DIGAMAX PLUS) propiedad del IMME, como se muestra en la Figura IV.27. Se tomó nota de las cargas máximas aplicadas que provocaron la ruptura de los cilindros, y luego estas fueron procesadas para obtener la resistencia de cada probeta (ver Anexo 7).



Figura IV.27: Ensayo de compresión.
Fuente: Elaboración propia.

Las resistencias de las probetas testigos se calcularon mediante la Ecuación III.21 y las probetas pertenecientes a la Etapa 3 (concretos unidos con los diferentes métodos) se calcularon aplicando la Ecuación III.22 (resistencia de la adhesión) y la Ecuación III.21. El área de la sección de unión utilizada en la Ecuación III.22 se aproxima a una elipse y se calcula con la Ecuación IV.1.

$$A = \pi * \frac{a}{2} * \frac{b}{2} \quad \text{Ecuación IV.1: Área de un elipse.}$$

Donde “a” y “b” son los lados de la elipse como se muestra en la Figura IV.28.

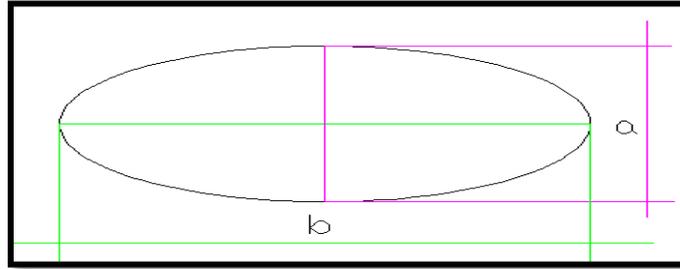


Figura IV.28: Elipse.
Fuente: Elaboración propia.

IV.9.1. Probetas Testigo

Resultados de los ensayos a los siete (7) días de las probetas testigo (ver Tabla IV.21).

Probetas Testigos											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Ensayo	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
1.1	16/2/2011	23/2/2011	14,9	15,0	14,9	30,2	12,740	58400	174,95	330	312
1.2	16/2/2011	23/2/2011	15,0	15,0	15,0	30,8	13,065	53400	176,36	302	
1.3	16/2/2011	23/2/2011	15,1	15,1	15,1	30,3	12,635	57200	178,49	319	
1.4	16/2/2011	23/2/2011	15,0	15,1	15,0	30,2	12,625	54000	177,30	302	
1.5	16/2/2011	23/2/2011	14,9	15,1	15,0	30,2	12,546	54000	176,13	306	

Tabla IV.21: Resistencia, Probetas testigos.
Fuente: Elaboración propia.

IV.9.2. Concretos unidos a los siete (7) días

IV.9.2.1. Resistencia a compresión de la Adhesión

A continuación se mostrarán los datos arrojados por la aplicación del ensayo de compresión y las resistencias calculadas utilizando la Ecuación III.22.

En la tabla IV.22 se pueden observar los resultados arrojados por los ensayos de compresión a las probetas realizadas con superficie de contacto lisa, sin aplicación del adherente epóxico.

Los resultados de las uniones de concretos realizadas con la superficie de contacto lisa y utilizando el adherente epóxico se pueden observar en la Tabla IV.23.

Por otra parte los resultados de las probetas unidas utilizando el plano irregular son mostrados en la Tabla IV.24.

En la Tabla IV.25 están expresados los resultados arrojados por las probetas que fueron unidas con el plano irregular y el adherente epóxico.

Probetas con Superficie de Contacto Lisa (7días)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	Lado a Elipse (cm)	Lado b Elipse (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
2.1	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,1	28,1	27,7	12,985	13910	332,90	41,78	48,63
2.2	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	26,3	25,6	13,126	14819	309,79	47,84	
2.3	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	29,2	30,6	13,001	17685	344,81	51,29	
2.4	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,9	26,7	30,9	13,138	18971	312,50	60,71	
2.5	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	28,3	30,3	12,905	13830	333,07	41,52	

Tabla IV.22: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a los 7 días)
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie de Contacto Lisa con Epoxi (7días)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	Lado a Elipse (cm)	Lado b Elipse (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
3.1	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	26,5	30,5	12,782	19255	310,78	61,96	57,77
3.2	10/4/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	26,3	30,2	12,746	16772	310,56	54,01	
3.3	10/5/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,1	27,7	30,1	12,695	16699	329,14	50,74	
3.4	10/6/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	28,6	30,7	12,966	20864	338,08	61,71	
3.5	10/7/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	28,5	30,6	12,916	20312	336,09	60,44	

Tabla IV.23: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a los 7 días).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular (7 días)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D promedio (cm)	Lado b Elipse (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
5.1	11/3/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,3	28,7	29,9	12,844	27139	345,65	78,52	85,12
5.2	11/3/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,3	26,3	30,4	13,214	27248	317,21	85,90	
5.3	11/3/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,3	26,6	25,8	12,831	28328	320,46	88,40	
5.4	11/3/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,4	27,7	30,5	13,197	30771	334,65	91,95	
5.5	11/3/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,3	26,5	30,3	13,028	25703	317,88	80,86	

Tabla IV.24: Resistencia de adhesión, probetas con superficie irregular (uniones a los 7 días).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular con Epóxico (7 días)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D promedio (cm)	Lado b Elipse (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
4.1	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,9	25,3	30,4	12,905	27881	296,57	94,01	91,92
4.2	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	24,5	30,3	12,797	30798	289,21	106,49	
4.3	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	28,3	30,8	12,754	27038	336,38	80,38	
4.4	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	25,4	30,3	12,977	26690	299,06	89,25	
4.5	10/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	25,5	29,8	12,738	27250	304,62	89,46	

Tabla IV.25: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (7 días)
Fuente: Elaboración propia.

IV.9.2.2. Resistencia a compresión

Para un análisis completo de las diferentes uniones, se calcularon las resistencias utilizando la Ecuación III.21. De esta forma se realizaron las comparaciones con los resultados obtenidos de las probetas testigo.

En la tabla IV.26 se observan los resultados arrojados por los ensayos de compresión a las probetas realizadas con superficie de contacto lisa, sin la utilización del adherente epóxico.

Los resultados de las uniones de concretos realizadas con la superficie de contacto lisa y aplicando el adherente epóxico se pueden observar en la Tabla IV.27.

Los resultados de las probetas unidas utilizando el plano irregular son mostrados en la Tabla IV.28.

Por último en la Tabla IV.29 están expresados los resultados arrojados por las probetas que fueron unidas fusionando los métodos estudiados.

Probetas con Superficie de Contacto Lisa (7días)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
2,1	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	15,0	15,1	30,5	12,985	13910	179,08	78	89
2,2	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,1	15,0	15,1	30,8	13,126	14819	179,08	83	
2,3	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	15,1	15,1	30,6	13,001	17685	179,08	99	
2,4	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	14,9	15,0	30,9	13,138	18971	176,71	107	
2,5	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,1	14,9	15,0	30,3	12,905	13830	176,71	78	

Tabla IV.26: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a los 7 días).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie de Contacto Lisa con Epoxi (7días)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
3,1	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	15,0	15,0	30,5	12,782	19255	176,71	109	106
3,2	04/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,9	15,2	15,1	30,2	12,746	16772	179,08	94	
3,3	05/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	15,1	15,2	30,1	12,695	16699	181,46	92	
3,4	06/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,1	14,9	15,0	30,7	12,966	20864	176,71	118	
3,5	07/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	15,0	15,0	30,6	12,916	20312	176,71	115	

Tabla IV.27: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a los 7 días).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular (7 días)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
5,1	03/11/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,2	15,5	15,4	29,9	12,844	27139	186,27	146	150
5,2	03/11/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,4	15,3	15,4	30,4	13,214	27248	186,27	146	
5,3	03/11/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,2	15,5	15,4	30,0	12,831	28328	186,27	152	
5,4	03/11/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,4	15,3	15,4	30,5	13,197	30771	186,27	165	
5,5	03/11/2011	18/3/2011	25/3/2011	15,1	15,4	15,3	30,3	13,028	25703	183,85	140	

Tabla IV.28: Resistencia a compresión, probetas con superficie irregular (uniones a los 7 días).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular con Epóxico (7 días)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
4,1	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,9	14,9	14,9	30,4	12,905	27881	174,37	160	156
4,2	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	15,0	15,0	30,3	12,797	30798	176,71	174	
4,3	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	15,1	15,2	30,8	12,754	27038	181,46	149	
4,4	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	14,9	15,1	30,3	12,977	26690	179,08	149	
4,5	03/10/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,3	15,1	15,2	29,8	12,738	27250	181,46	150	

Tabla IV.29: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (7 días).
Fuente: Elaboración propia.

IV.9.3. Concretos unidos a las veinticuatro (24) horas

IV.9.3.1. Resistencia a compresión de la adhesión

En la Tabla IV.30 se muestran los resultados arrojados por las probetas unidas sin epóxico y con una superficie de contacto lisa, en la tabla se pueden apreciar dos resultados de resistencia, el superior pertenece a la resistencia calculada sin tomar en cuenta el resultado arrojado por el cilindro 6.3 (celda en color azul) y el dato inferior pertenece a la resistencia calculada tomando en cuenta todas las probetas.

Se debe acotar que cumpliendo con la regla general establecida por Porrero (2009), no se deben eliminar valores ni de pruebas ni de ensayos que parezcan ser anormales por tener magnitudes diferentes de las esperadas o habituales. Sin embargo en el presente Trabajo Especial de Grado, se presentan los diferentes resultados (mencionados en el párrafo anterior) que permitieron realizar un análisis más detallado.

En la Tabla IV.31 se expresan los resultados arrojados por las probetas unidas con el adherente epóxico y la superficie de contacto lisa.

En la Tabla IV.32 se observan los resultados que arrojaron los ensayos aplicados a las probetas con superficie irregular y en la Tabla IV.33 las unidas con la misma superficie y utilizando el epóxico.

Probetas con Superficie Lisa (24 horas)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	Lado a Elipse (cm)	Lado b Elipse	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
6.1	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	28,4	30,5	13,028	21620	334,49	64,64	73,09
6.2	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	25,2	30,6	13,076	22151	296,88	74,61	
6.3	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,3	26,0	30,5	12,991	35074	311,72	112,52	80,98
6.4	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,8	24,8	30,8	13,039	22354	287,79	77,68	
6.5	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2011	15,3	25,1	30,3	12,842	22746	301,52	75,44	

Tabla IV.30: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a las 24 horas)

Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Lisa y Epóxico (24 horas)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	Lado a Elipse (cm)	Lado b Elipse (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
7.1	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,2	24,4	30,3	12,657	26651	290,52	91,73	79,07
7.2	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,9	26,9	30,6	12,762	24519	313,27	78,27	
7.3	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	26,4	30,5	12,644	24136	311,77	77,42	
7.4	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,7	26,4	30,3	12,625	22306	305,05	73,12	
7.5	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,7	28,8	30,4	12,683	24972	333,76	74,82	

Tabla IV.31: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a las 24 horas).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular (24 horas)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	Lado a Elipse (cm)	Lado b Elipse	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
9.1	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2011	15,4	24,6	30,5	12,995	35881	297,83	120,48	103,79
9.2	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2012	15,4	25,4	30,2	13,609	32077	306,22	104,75	
9.3	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2013	15,2	27,6	30,6	13,059	35433	328,70	107,80	
9.4	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2014	15,5	26,8	30,3	12,842	29746	326,74	91,04	
9.5	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2015	15,2	28,0	30,2	12,875	31797	335,15	94,88	

Tabla IV.32: Resistencia de adhesión, probetas con superficie irregular (uniones a las 24 horas).
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular y Epóxico (24 horas)											
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	Lado a Elipse (cm)	Lado b Elipse (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
8.1	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2011	15,1	25,8	30,4	12,708	31559	306,58	102,94	94,79
8.2	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2012	15,3	27,7	30,5	12,819	29795	333,73	89,28	
8.3	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2013	15,1	28,6	30,5	12,682	29949	339,63	88,18	
8.4	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2014	15,5	25,4	30,7	12,98	30745	308,81	99,56	
8.5	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2015	15,1	27,8	30,3	12,476	30978	329,56	94,00	

Tabla IV.33: Resistencia de adhesión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (24 horas)

Fuente: Elaboración propia.

IV.9.3.2. Resistencia a compresión

En la Tabla IV.34 se muestran los resultados arrojados por las probetas unidas sin epóxico y con una superficie de contacto lisa, en la tabla se pueden apreciar dos resultados de resistencia, el superior pertenece a la resistencia calculada sin tomar en cuenta el resultado arrojado por el cilindro 6.3 (celda de color azul) y el dato inferior pertenece a la resistencia calculada tomando en cuenta todas las probetas de este método.

Los resultados arrojados por las probetas unidas con el adherente epóxico y la superficie de contacto lisa se expresan en la Tabla IV.35.

Los resultados que arrojaron los ensayos aplicados a las probetas con superficie irregular se observan en la Tabla IV.36 y en la Tabla IV.37 los resultados de las unidas con la misma superficie y utilizando el epóxico.

Probetas con Superficie Lisa (24 horas)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
6.1	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14.9	15.1	15.0	30.5	13.028	21620	176.71	122	125
6.2	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14.9	15.1	15.0	30.6	13.076	22151	176.71	125	
6.3	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15.2	15.4	15.3	30.5	12.991	35074	183.85	191	138
6.4	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14.8	14.7	14.8	30.8	13.039	22354	172.03	130	
6.5	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2011	15.1	15.5	15.3	30.3	12.842	22746	183.85	124	

Tabla IV.34: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa (uniones a las 24 horas)
Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Lisa y Epóxico (24 horas)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
7,1	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,1	15,2	15,2	30,3	12,657	26651	181,46	147	140
7,2	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	15,0	14,7	14,9	30,6	12,762	24519	174,37	141	
7,3	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,9	15,1	15,0	30,5	12,644	24136	176,71	137	
7,4	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,7	14,71	14,7	30,3	12,625	22306	169,72	131	
7,5	16/3/2011	17/3/2011	24/3/2011	14,7	14,8	14,8	30,4	12,683	24972	172,03	145	

Tabla IV.35: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto lisa y unidas con epóxico (uniones a las 24 horas).

Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular (24 horas)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
9,1	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2011	15,4	15,2	15,3	30,5	12,995	35881	183,85	195	179
9,2	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2012	15,4	15,3	15,4	30,2	13,609	32077	186,27	172	
9,3	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2013	15,2	15,4	15,3	30,6	13,059	35433	183,85	193	
9,4	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2014	15,5	15,3	15,4	30,6	12,842	29746	186,27	160	
9,5	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2015	15,2	15,4	15,3	30,2	12,875	31797	183,85	173	

Tabla IV.36: Resistencia a compresión, probetas con superficie irregular (uniones a las 24 horas).

Fuente: Elaboración propia.

Probetas con Superficie Irregular y Epóxico (24 horas)												
Probeta	Fecha Elaboración	Fecha de Unión	Fecha de Ensayo	D 1 (cm)	D 2 (cm)	D promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga máx. (Kgf)	Área Sección Transversal (cm ²)	Resistencia a Compresión (Kgf/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (kgf/cm ²)
8,1	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2011	15,1	15,3	15,2	30,4	12,708	31559	181,46	174	166
8,2	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2012	15,3	15,5	15,4	30,5	12,819	29795	186,27	160	
8,3	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2013	15,1	15,5	15,3	30,5	12,682	29949	183,85	163	
8,4	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2014	15,5	15,5	15,5	30,7	12,98	30745	188,69	163	
8,5	21/3/2011	22/3/2011	29/3/2015	15,1	15,4	15,3	30,3	12,476	30978	183,85	168	

Tabla IV.37: Resistencia a compresión, probetas con superficie de contacto irregular y utilizando epóxico (24 horas)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo del Trabajo Especial de Grado se mostrarán los análisis de resultados referentes a los ensayos de compresión realizados a los cilindros. Los análisis de los resultados arrojados por los ensayos aplicados a los agregados adquiridos se señalaron en el Capítulo IV del presente Trabajo Especial de Grado.

V.1. Resistencia de adhesión

V.1.1. Probetas unidas a los siete (7) días

A continuación se mostrarán los análisis y comparaciones de las uniones realizadas con los diferentes métodos a los siete (7) días del primer vaciado.

V.1.1.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico

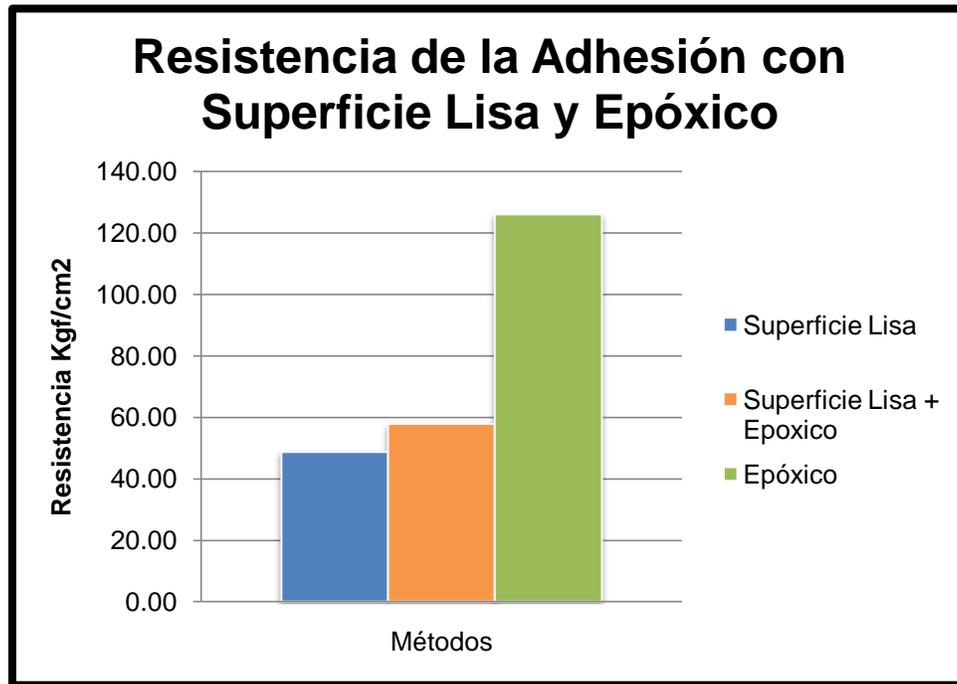
La falla que presentaron todas las probetas se ubicó en la unión de ambos concretos y de tipo D (especificado en la Figura III.3) como se muestra en la Figura V.1. Por esta razón se evalúa la resistencia a compresión de la adherencia

utilizando la Ecuación III.23. La resistencia que presenta el epóxico en la hoja técnica es de 126 kg/cm^2 a los dos días de aplicación, por lo que se puede observar que el resultado arrojado por los ensayos a las probetas con uniones utilizando epóxico representa el 45,85% de la resistencia a compresión señalada y las uniones sin el adherente un 38,59%.

En la gráfica V.1 se puede observar las resistencias a compresión de ambos métodos y la expuesta en la hoja técnica del epóxico.



Figura V.1: Falla tipo D.
Fuente: Elaboración propia.

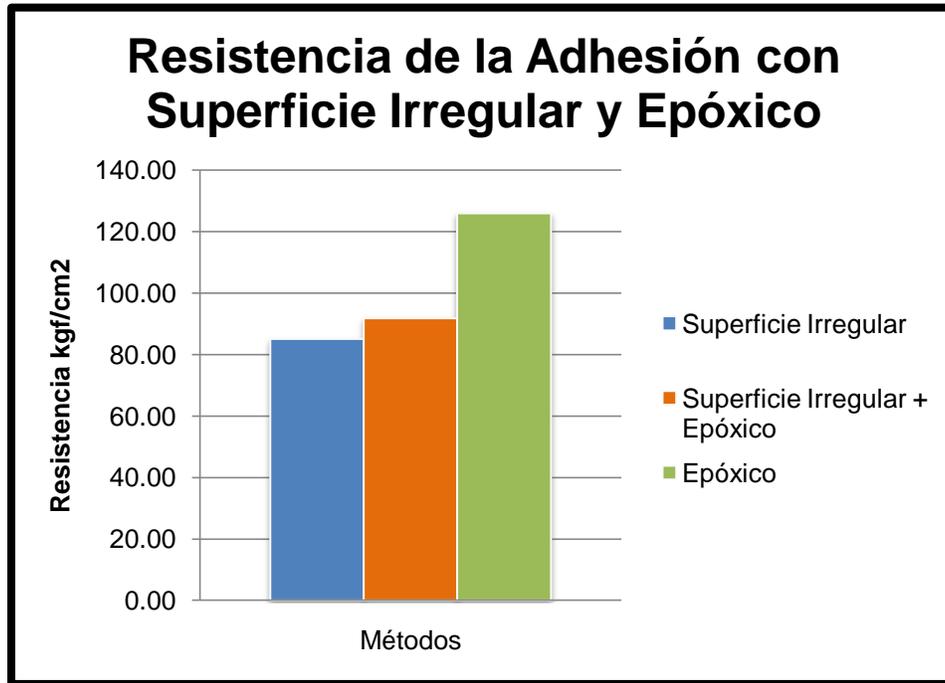


Gráfica V.1: Resistencia de la adhesión, superficie lisa, uniones a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.

V.1.1.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico

Analizando los resultados arrojados por los ensayos, se puede observar el incremento de resistencia que presentan las uniones con superficie irregular. Las uniones con epóxico presentaron un 72,95% de la resistencia mostrada en la hoja técnica del adherente y las uniones sin el adherente un 67,56% de la misma. De igual forma las fallas se presentaron en la superficie de unión de los concretos (falla tipo D).

En la gráfica V.2 se puede observar los resultados arrojados por los métodos y la especificada por el producto.



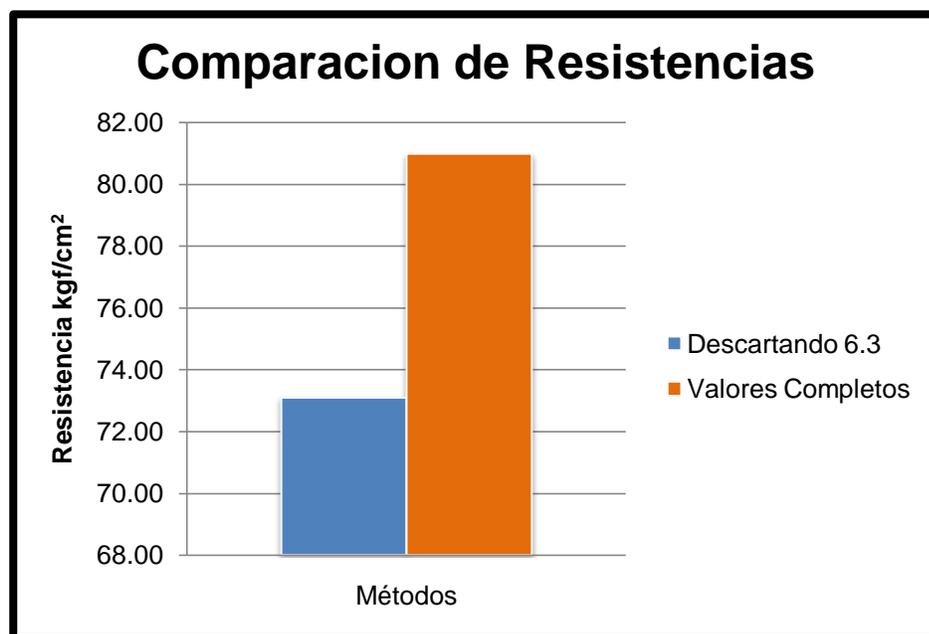
Gráfica V.2: Resistencia de la adhesión, superficie irregular, uniones a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.

V.1.2. Probetas unidas a las veinticuatro (24) horas

A continuación se presentarán los análisis referentes a las uniones de concreto fresco a concreto endurecido realizadas a las veinticuatro (24) horas, utilizando los diferentes métodos.

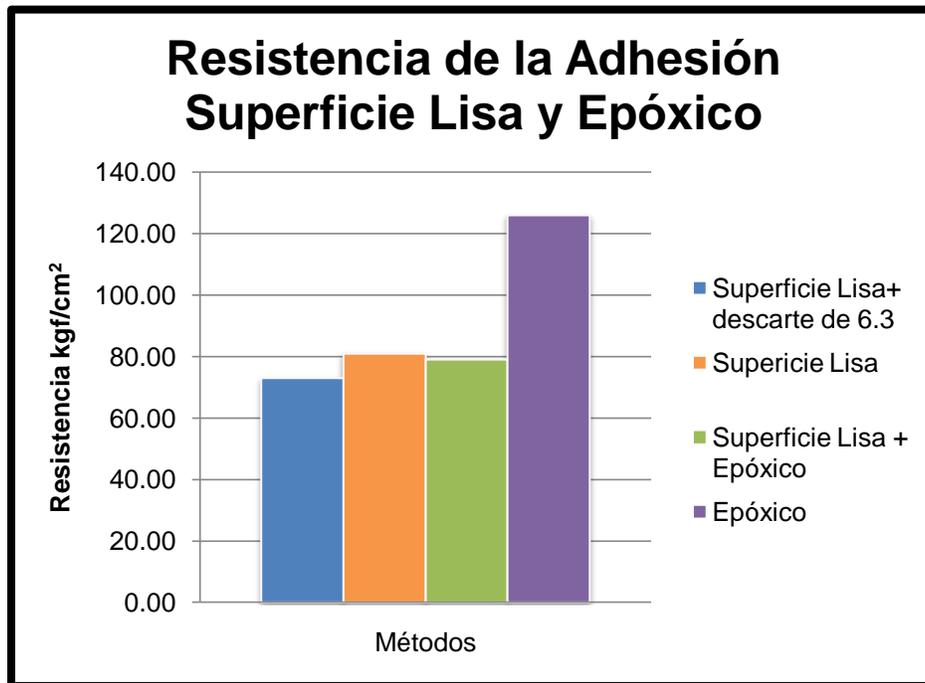
V.1.2.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico

En los resultados arrojados por las probetas con uniones sin epóxico se puede observar que la probeta 6.3 muestra una resistencia de más del 50% por encima del promedio de las probetas ensayadas de la misma clase, por esta razón se mostro el resultado tomando en cuenta el valor y descartándolo, ya que la diferencia puede o no haber sido originada por un error de ensayo. Mediante la gráfica V.3 se puede observar la diferencia mencionada.



Gráfica V.3: Diferencia de resistencias, superficie lisa, uniones a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte las uniones donde se utilizó el adherente reflejaron un 62,76% de la resistencia expuesta por el producto. En la gráfica V.4 se observan las diferentes resistencias en comparación con la presentada por la hoja técnica del adherente.



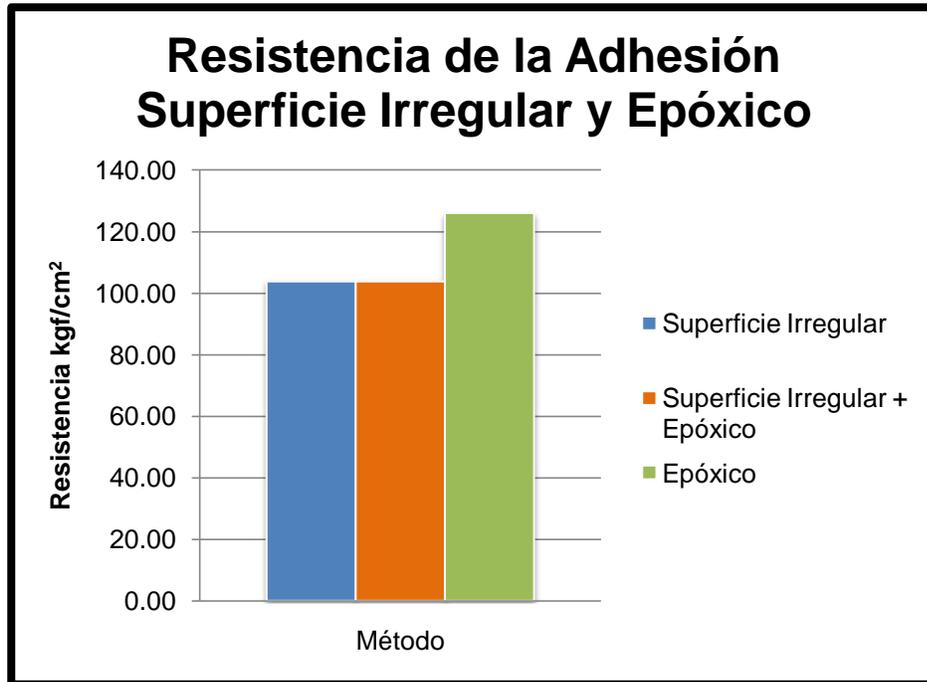
Gráfica V.4: Resistencia de la adhesión, superficie lisa, uniones a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Mediante la gráfica V.4 se observa que si se toma en cuenta el valor que arroja la probeta 6.3, el resultado es mayor (un 1,51%) al arrojado por las probetas donde se utilizó el adherente epóxico en las uniones, y se puede apreciar el resultado inverso (un 4,75%) si se descarta dicha probeta.

IV.1.2.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico

En este caso (superficie de contacto irregular) los resultados de resistencia arrojados por las probetas con uniones utilizando epóxico son menores que los resultados provenientes de los concretos unidos sin epóxico, por otra parte en las

uniones donde se utilizó el epóxico los resultados fueron de un 75,23% de las señaladas por el producto. En la gráfica V.5 se observan estos resultados.



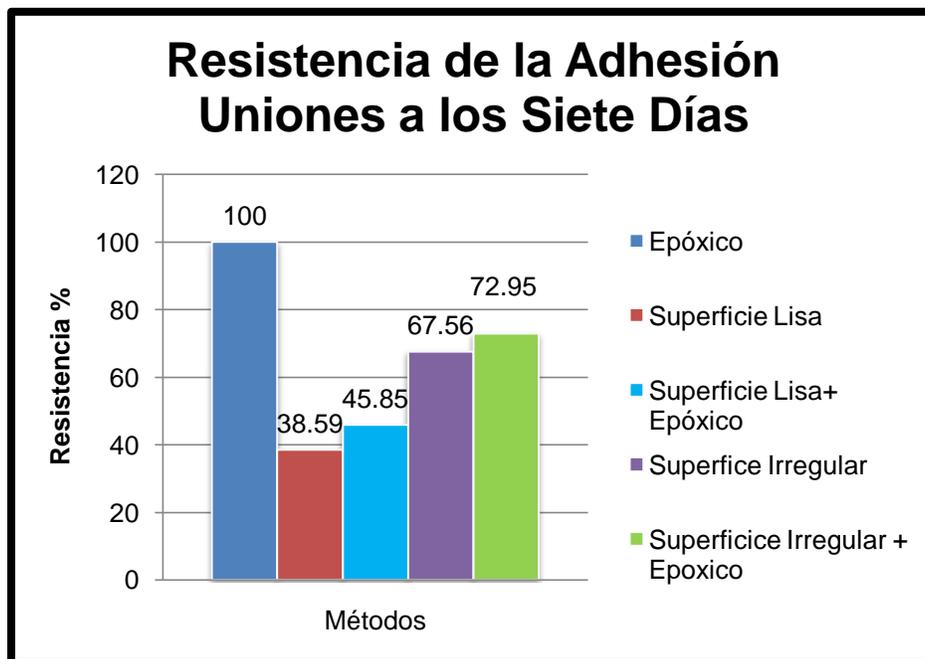
Gráfica V.5: Resistencia a la adhesión, superficie irregular, uniones a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

V.1.3. Comparaciones entre métodos

Por medio de gráficas se mostrarán en porcentaje los resultados arrojados por los diferentes métodos y las diferentes edades, haciendo un análisis comparativo de los mismos, utilizando como referencia la resistencia mostrada en la hoja técnica del adherente (126 kgf/cm²).

V.1.3.1. Comparaciones de las uniones realizadas a los siete (7) días

Por medio de la gráfica V.6, se puede observar que los resultados arrojados por las uniones con superficie irregular más el uso del adherente son más favorables que las uniones realizadas con superficie de contacto lisa.

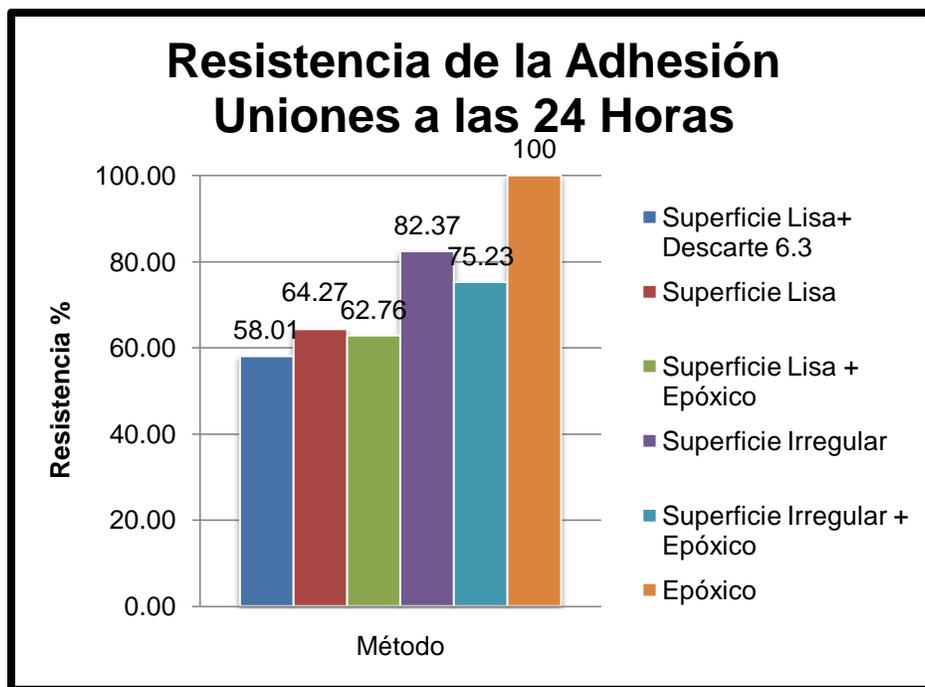


Gráfica V.6: Comparación de resistencia a la adhesión, uniones a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.

Entre la resistencia arrojada por las uniones con superficie de contacto irregular sin utilizar epóxico y la superficie de contacto irregular utilizando el epóxico, existe un 5,39% (6,79 kgf/cm²) de diferencia.

V.1.3.2. Comparaciones de las uniones realizadas a las veinticuatro (24) horas

Como se puede observar en la gráfica V.7, la resistencia arrojada por la superficie irregular sin la utilización del epóxico es mayor que la resistencia arrojada por los ensayos aplicados a las probetas con diferentes superficies de contacto donde se utilizó el adherente epóxico.



Gráfica V.7: Comparación de resistencias a la adhesión, uniones a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

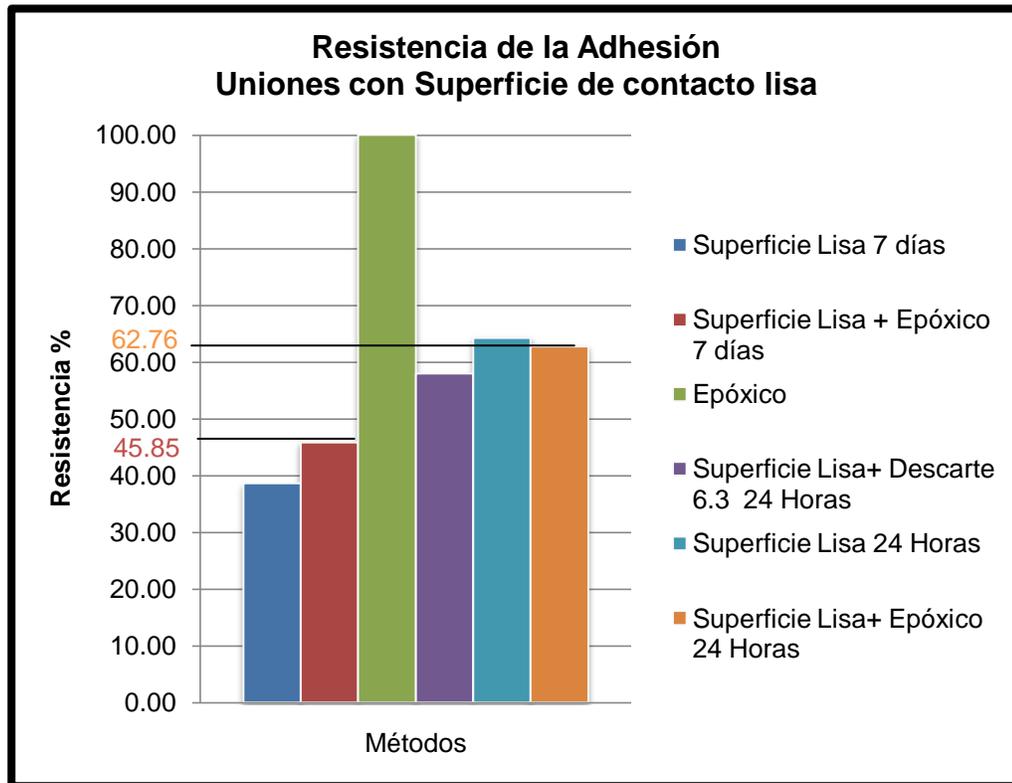
Los resultados con superficie irregular sin epóxico reflejan un 82,37% de la resistencia mostrada por la hoja técnica del adherente, y las uniones con la misma superficie donde se utilizó el adherente aportan un 75,23%, lo que demuestra en este caso que las uniones utilizando el epóxico suelen aportar menor resistencia que los casos donde no se aplica el adherente. Por otra parte en las superficie de

contacto lisa los resultados arrojados por el epóxico dieron ligeramente mayores a los casos donde no se utilizó el epóxico, teniendo en cuenta que se despreció el valor de la probeta 6.3.

V.1.3.3. Comparaciones de las uniones con superficie de contacto lisa, uniones a las 24 horas y 7 días

Mediante la gráfica V.8 se puede observar que los resultados arrojados por las probetas con uniones realizadas a las veinticuatro (24) horas son superiores a las resistencias arrojadas por las uniones realizadas a los siete (7) días.

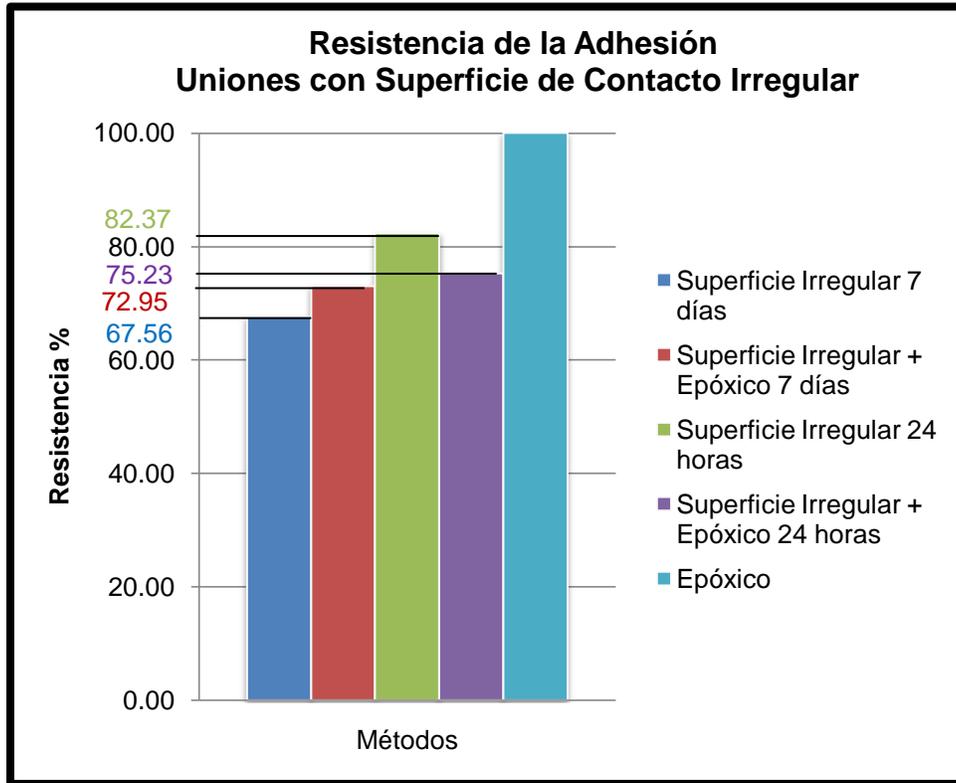
Las diferencias entre uniones a los siete (7) días y uniones a las veinticuatro (24) horas son hasta de un 14%, lo que resalta más aun que las uniones a las veinticuatro horas resultan ser más ventajosas.



Gráfica V.8: Comparación de las uniones con superficie de contacto lisa.
Fuente: Elaboración propia.

V.1.3.4. Comparaciones de las uniones con superficie de contacto irregular, uniones a las 24 horas y 7 días

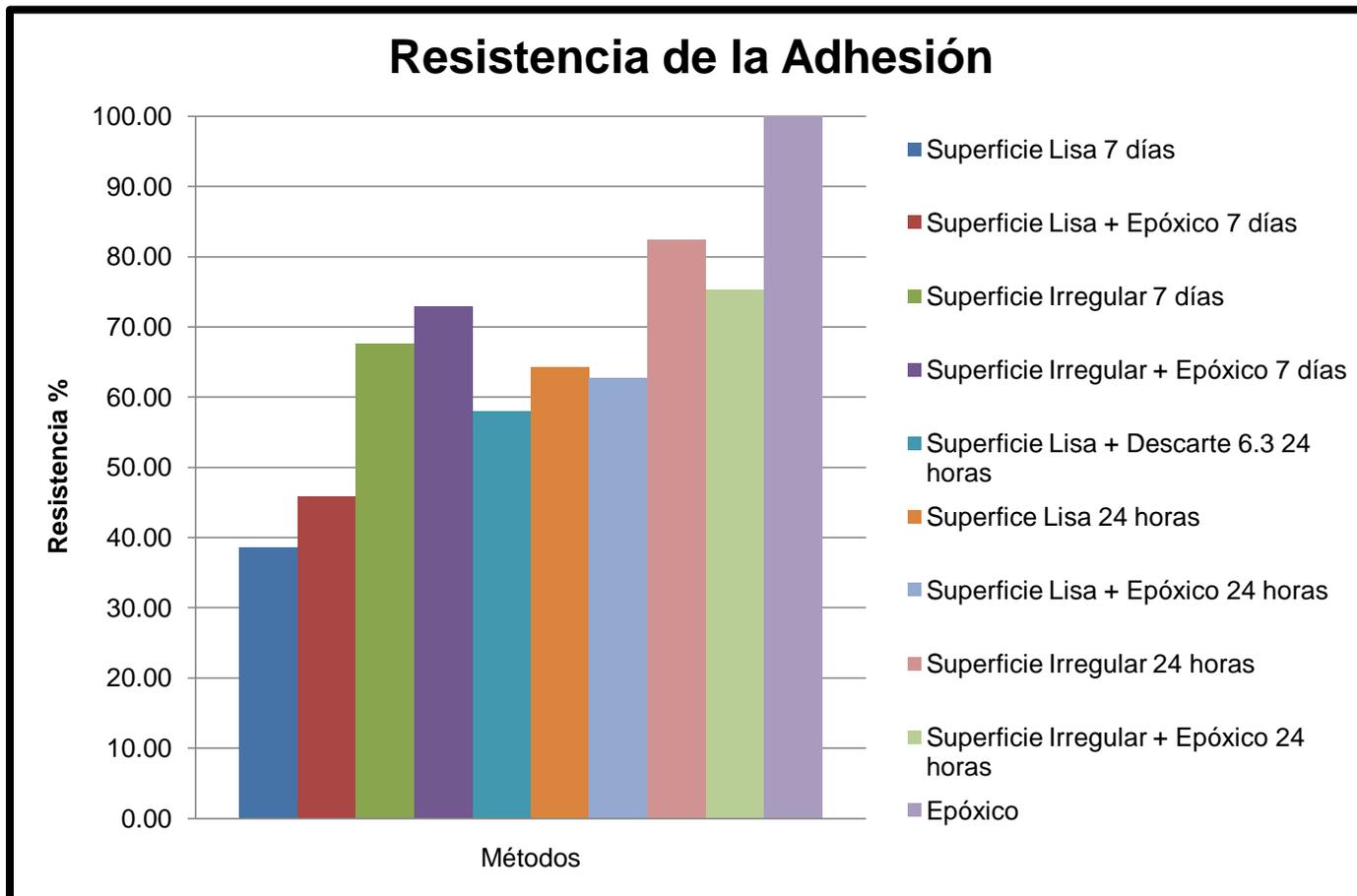
De igual forma que las uniones con superficie de contacto lisa, las uniones realizadas a las veinticuatro (24) horas con superficie de contacto irregular arrojaron resultados superiores a las uniones realizadas a los siete (7) días. Se puede observar en la gráfica V.9 que existe una diferencia de 14,81% entre las probetas donde no se utilizó el epóxico y un 2,28% entre las resistencias arrojadas por las probetas con uniones donde se utilizó el adherente, tomando en cuenta el 100% como 126 kgf/cm².



Gráfica V.9: Comparación de la resistencia a la adhesión, superficie irregular.
Fuente: Elaboración propia.

V.3.5. Comparaciones de todos los métodos utilizados

Como se observa en la gráfica V.10, las resistencias más cercanas a la mostrada por la hoja técnica del producto, son las arrojadas por los ensayos realizados a las probetas con uniones utilizando la superficie de contacto irregular, con y sin epóxico, primeramente las unidas a las veinticuatro (24) horas y luego las unidas a los siete (7) días. Por otra parte se reconoce que al utilizar el epóxico y la superficie de contacto irregular se aporta una resistencia aproximada de hasta un 44% (de la expuesta por la hoja técnica), superior a si no se utiliza ninguno de estos métodos.



Gráfica V.10: Comparación de la resistencia de la adhesión, métodos utilizados.
Fuente: Elaboración propia.

V.2. Resistencia a compresión

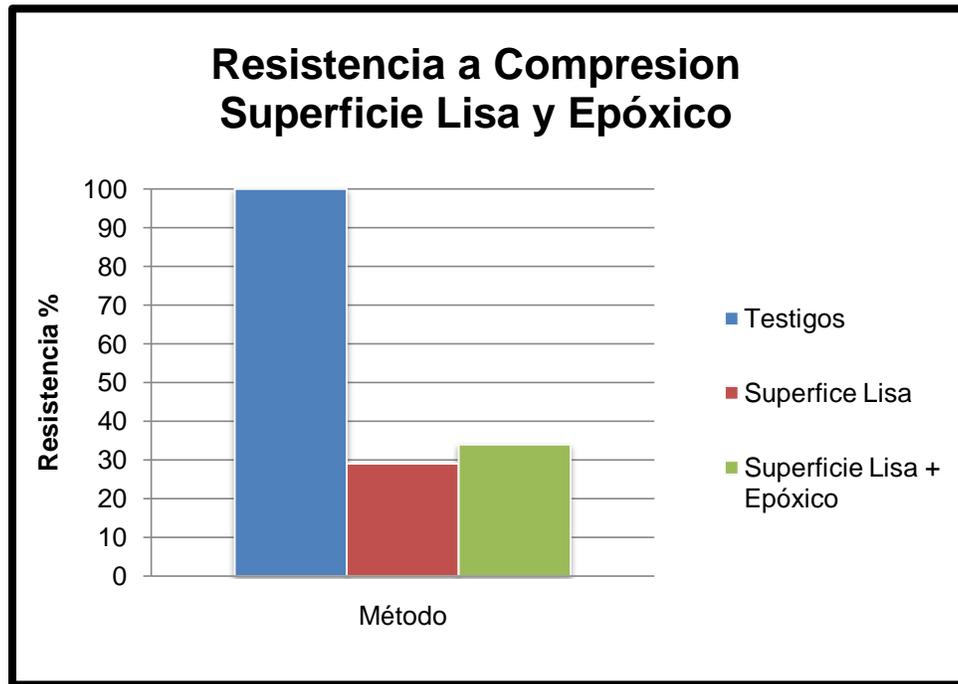
A continuación se mostrarán las comparaciones y análisis referentes a los resultados de resistencia calculados con la Ecuación III.22, donde se toma como área de aplicación de carga, la sección transversal del cilindro. Estos resultados son comparados con los arrojados por las probetas testigo.

V.2.1. Probetas unidas a los siete (7) días

V.2.1.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico

Se puede observar que los resultados arrojados por las probetas con superficie lisa, representan menos del 40% de la resistencia de las probetas testigo (ver Gráfica V.11).

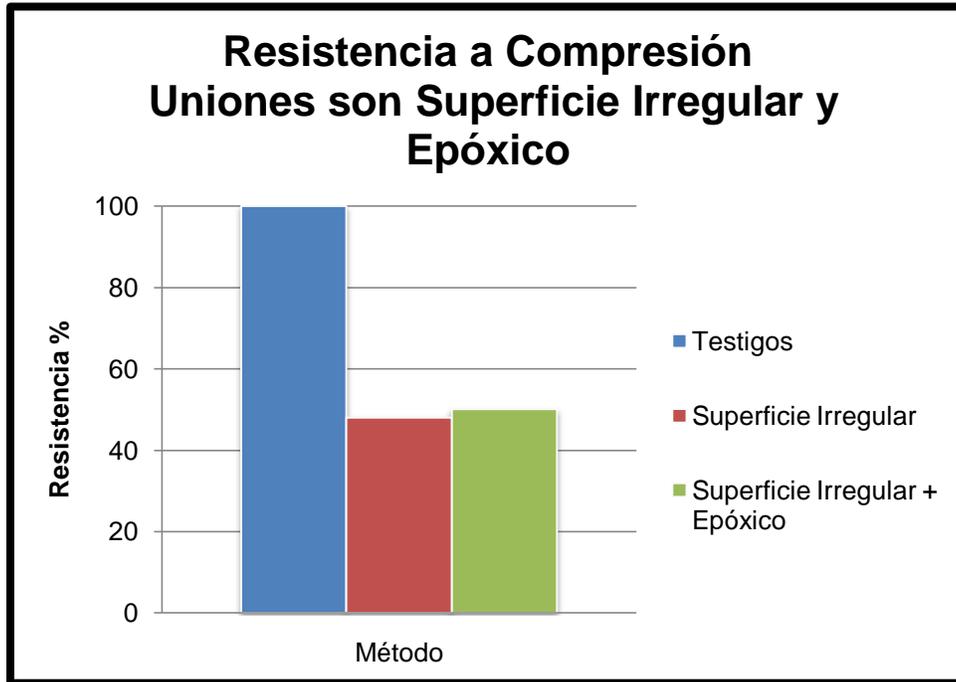
Gracias al tipo de falla que presentaron (corte en la unión) se pudo inferir que las uniones realizadas con un ángulo de treinta grados (30°) como lo explica el método de la norma ASTM C882/C882M:05 “Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear”, (Resistencia de la unión de los sistemas de epoxi-resina utilizados con concreto empleando un corte oblicuo), no son las más indicadas para ser aplicadas en elementos que serán sometidos a compresión en su etapa de servicio.



Gráfica V.11: Resistencia a compresión, superficie lisa, uniones a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.

V.2.1.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epoxico

En este caso se puede observar como la superficie irregular mejora el comportamiento de las probetas al ser sometidas a compresión, igualmente se está en presencia de un ángulo de unión desfavorable. Por otra parte en las probetas donde se utilizó el epoxico, se presencio un incremento de resistencia del 2% (ver Gráfica V.12).



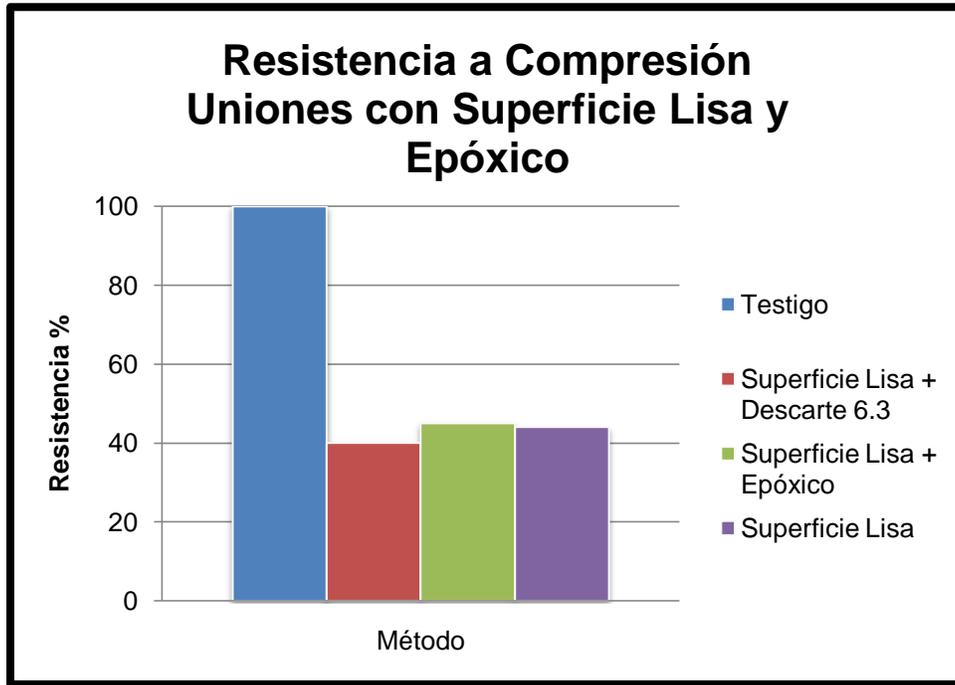
Grafica V.12: Resistencia a compresión, superficie irregular, uniones a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.

V.2.2. Probetas unidas a las veinticuatro (24) horas

V.2.2.1. Uniones con superficie de contacto lisa, con y sin epóxico

A continuación se presenta el análisis de las uniones realizadas con epóxico y superficie de contacto lisa. Como se menciono anteriormente, existe un resultado arrojado por la probeta 6.3 (uniones con superficie lisa) que está por encima del valor medio mostrado por las probetas realizadas con el mismo

método, por esta razón se presentan los resultados descartando y sin descartar la resistencia expresada por el cilindro 6.3 (ver Gráfica V.13).

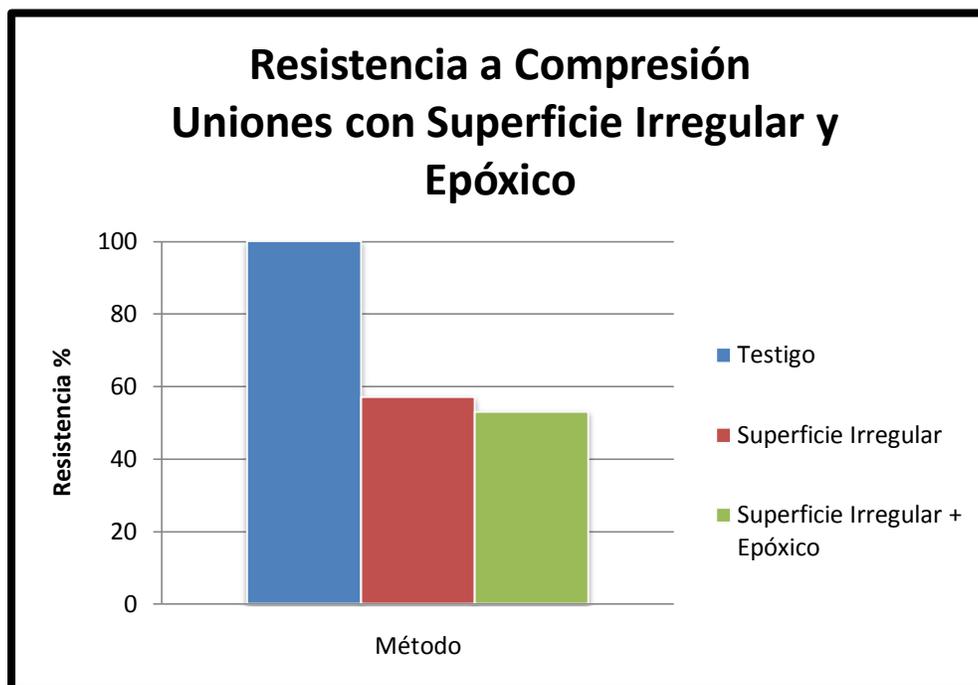


Gráfica V.13: Resistencia a compresión, superficie lisa, uniones a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el descarte de la probeta 6.3 se observa una reducción de la resistencia del 5%, en cambio si se realiza el cálculo sin descartar la probeta mencionada, se obtiene una diferencia del 1% en relación a la resistencia arrojada por las probetas unidas con el epóxico.

V.2.2.2. Uniones con superficie de contacto irregular, con y sin epóxico

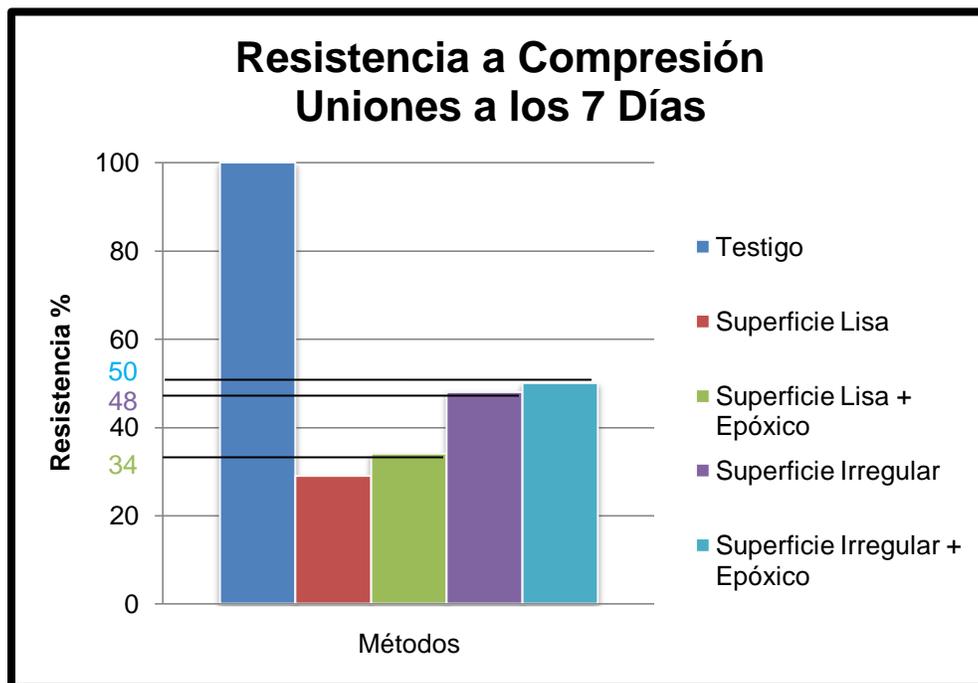
Las probetas con superficie de contacto irregular sin la utilización del epóxico, arrojaron las resistencias más elevadas como se muestra en la gráfica V.14. La diferencia en porcentajes presentada por las uniones con superficie irregular aplicando el epóxico y sin aplicarlo es del 4%.



Gráfica V.14: Resistencia a compresión, superficie irregular, uniones a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

V.2.3. Comparación entre métodos, uniones a los 7 días

A continuación se puede observar el método más favorable a la hora de realizar la unión de concreto fresco a concreto endurecido a los siete días (ver Gráfica V.15).

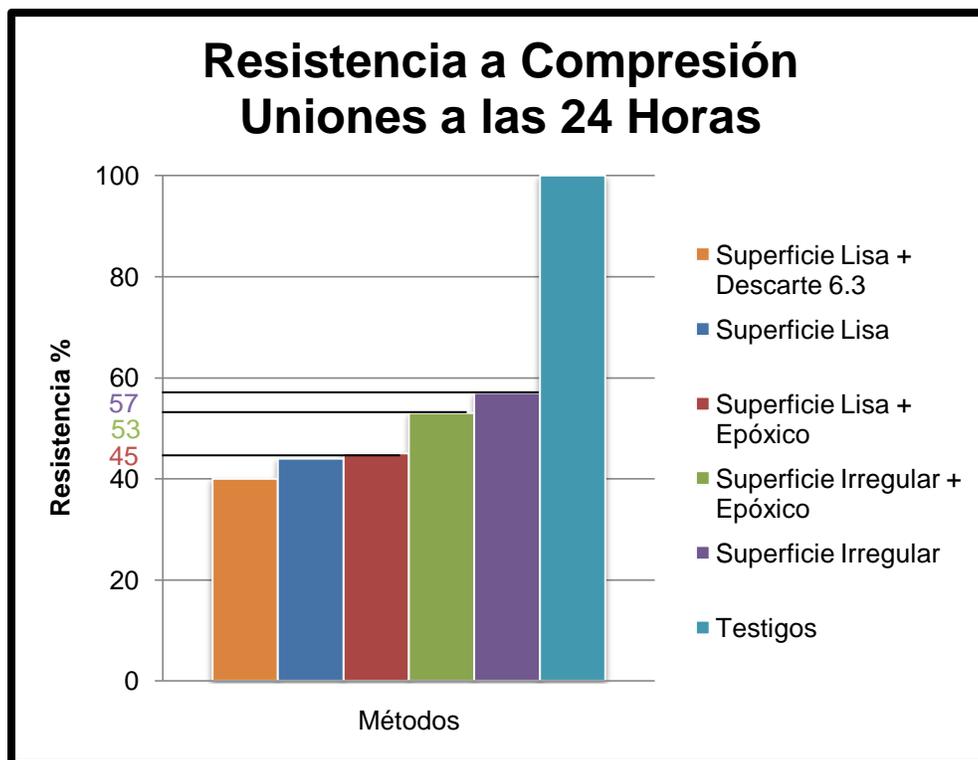


Gráfica V.15: Comparación de las uniones realizadas a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.

Al utilizar la superficie de contacto irregular y la aplicación del epóxico, se obtuvo la resistencia más elevada, con un 50% de la resistencia arrojada por las probetas testigo. Por otra parte al utilizar sólo el adherente epóxico se obtuvo un 34% y un 48% al aplicar sólo la superficie de contacto irregular. Los resultados arrojados al no utilizar los métodos mencionados, son de 29% de la resistencia de los cilindros testigo, como se puede observar se presenta un incremento al aplicar los métodos por separado y fusionados.

V.2.4. Comparación entre métodos, uniones a las 24 horas

Se pueden observar los métodos más favorables para ser utilizados en uniones a las veinticuatro (24) horas, mediante la gráfica V.16.



Gráfica V.16: Comparación de las uniones realizadas a las 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

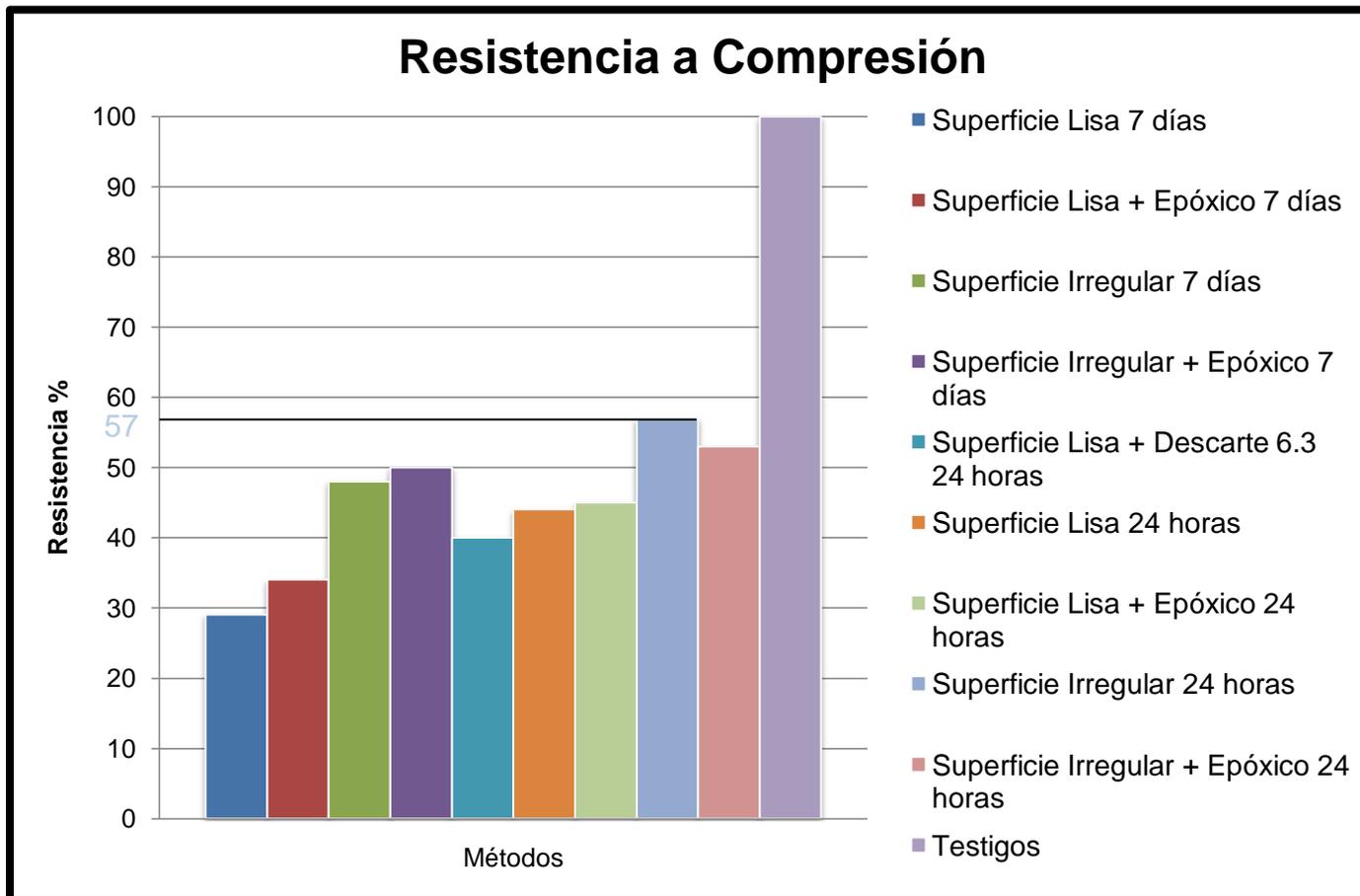
En este caso las uniones con superficie de contacto irregular sin la aplicación del adherente epóxico, mostraron el resultado más óptimo con un 57% de la resistencia arrojada por las probetas testigo.

V.2.5. Comparación entre métodos

En esta sección se mostrarán las comparaciones de los diferentes métodos, empleados a las veinticuatro (24) horas y a los siete (7) días (ver Grafica V.17).

Mediante la grafica se puede observar que el método que responde mejor al ser sometido a compresión, es la unión a las veinticuatro (24) horas utilizando la superficie de contacto irregular.

Si se realizan uniones a los siete (7) días, el método más favorable a utilizar sería la unión de los concretos aplicando el adherente epóxico y la superficie de contacto irregular.



Gráfica V.17: Comparación de la resistencia a compresión, métodos utilizados.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Luego de haberse realizado los ensayos a los diferentes cilindros, conformados por concreto fresco unido a concreto endurecido utilizando los diferentes métodos explicados anteriormente, se llevó a cabo el análisis de los resultados correspondientes a cada técnica y edad de unión, de esta forma se pudo llegar a las debidas conclusiones explicadas a continuación.

Todos los resultados relacionados a la resistencia a compresión de la adhesión, están expresados en porcentajes, tomando como cien por ciento (100%) a la resistencia expuesta por la hoja técnica del adherente (126 kgf/cm^2). Las resistencias a compresión comparadas con las probetas testigos son expresadas igualmente en porcentajes, teniendo como cien por ciento (100%) la resistencia de los cilindros testigos (314 kgf/cm^2).

De los resultados arrojados por las probetas conformadas por los concretos unidos a las veinticuatro (24) horas, se llegó a la conclusión que el método más confiable y que aporta la resistencia a la adhesión más elevada, es la inclusión del plano irregular a la superficie de contacto. El plano irregular aporta un 18,16% sobre la resistencia de los concretos unidos sin la aplicación de los métodos (sin descartar los resultados de la probeta 6.3) y un 24,38% descartando la probeta 6.3.

Por otra parte las uniones con epóxicos resultan más efectivas si se fusionan con la superficie de contacto irregular, aunque estos ensayos dieron un 7,14% por debajo de la resistencia resultante de las mismas uniones sin utilizar el adherente.

De los resultados provenientes de las uniones a los siete (7) días, se pudo concluir que la fusión de los métodos estudiados aporta la mayor adhesión, con un 34,36 % por encima de los resultados arrojados por las uniones sin emplear los métodos mencionados (superficie de contacto lisa).

De lo anterior se puede concluir que al igual que las uniones a las veinticuatro (24) horas, el epóxico es más eficiente al ser aplicado sobre una superficie de contacto irregular, ya que se aumenta el área de unión y se presenta el fenómeno de adhesión mecánica.

Los resultados comparados con las probetas testigo, muestran la desventaja que proporciona la realización de uniones con el tipo de ángulo utilizado. Los cilindros que presentaron el mejor comportamiento al ser sometidos a compresión, fueron los elaborados con uniones a las veinticuatro (24) horas, aplicando la superficie de contacto irregular, con un 57% de la resistencia arrojada por las probetas testigo, seguidas de las elaboradas con el mismo método e incluyendo el adherente epóxico, con un 53%. Por otra parte en las probetas elaboradas con uniones a los siete (7) días, se observan los mejores resultados donde se utilizó el adherente epóxico y la superficie de contacto irregular, con un 50% de la resistencia mostrada por las probetas testigo.

Todas las probetas ensayadas fallaron por la unión de los concretos, el tipo de falla mencionado se clasifica como “D” (ver Figura III.3), y éste es denominado “Corte”

Los resultados arrojados por las uniones utilizando sólo el epóxico, se contrastaron con los establecidos por el producto en su hoja técnica, donde se determinó que la mejor forma de utilizar el adherente es aplicándolo en las uniones realizadas a las veinticuatro (24) horas. Al emplear el epóxico en las

uniones a los siete (7) días se obtuvo un 45,85% de la resistencia establecida por el producto, y los resultados provenientes de las uniones a las veinticuatro (24) horas proporcionaron un 62,76% de la misma. Se puede concluir que, al no realizar las uniones en el lapso que plantea la norma ASTM C882/C882M:05 y no se cumple en su totalidad las recomendaciones del fabricante, la resistencia de adhesión disminuye hasta un 54%.

Por último se compararon los resultados arrojados por todos los métodos empleados y se llegó a la conclusión que en las uniones a los siete (7) días es más seguro utilizar la superficie irregular más el adherente epóxico. En las uniones que se realicen a las veinticuatro (24) horas se puede optar por la utilización de la superficie de contacto irregular sin la necesidad de aplicar el adherente.

RECOMENDACIONES

La principal recomendación va dirigida a las personas que desean utilizar los métodos analizados, es importante realizar un estudio de la unión que se pretende ejecutar, donde se tenga el conocimiento de la utilización que se le dará al elemento (constituido por la unión) y a que cargas estará sometido. De esta forma se lograra obtener el mejor desempeño de ambos métodos.

Para futuras investigaciones, se proponen a continuación las siguientes recomendaciones:

- Realizar el análisis de la resistencia a tracción y flexión, de las uniones empleando los métodos estudiados en el presente Trabajo Especial de Grado.
- Se recomienda realizar una investigación con uniones a los veintiocho (28) días del primer vaciado.
- Analizar la resistencia mecánica de los diferentes adherentes epóxicos que están en el mercado nacional.
- Se recomienda realizar el mismo análisis propuesto en el presente Trabajo Especial de Grado, pero cumpliendo con los lapsos de unión y curado planteados por la norma ASTM C882/C882M:05.
- Para las futuras investigaciones, diseñar los moldes metálicos que faciliten el vaciado de los medios cilindros.

- Para las futuras investigaciones, se recomienda el uso de todos los implementos de seguridad en el momento de manejar los adherentes epóxicos.
- Se recomienda realizar una investigación única y exclusiva sobre la superficie de contacto irregular.

BIBLIOGRAFÍA

Archila Ortiz, G. A. (Mayo de 2007). *Evaluacion sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de epoxicos*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2010, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7815.pdf

ASTM C 881/ C 881 M . (2002). *Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete*. ASTM.

ASTM C 882/882 M . (2005). *Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear*. ASTM.

FUNDALANAVIAL. (2003). *Manual Visualizado*. Caracas: Fundacion de Laboratorio Nacional de Vialidad.

González, A. P. (11 de Noviembre de 2006). *Resistencia Mecánica*. Recuperado el 10 de Enero de 2011, de http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/resistencia_mecanica.htm

Hornbostel, C. (1999). *Materiales Modernos Para Construcción, Usos y aplicaciones*. Mexico, D.F.: LIMUSA .

Mahler, H. G. (2011). *Resinas Epoxi*. Recuperado el 27 de Febrero de 2011, de <http://resinasepoxi.com.ar/adhesivos/historia-de-los-adhesivos/>

National Ready Mixed Concrete Association. (2011). *Qué, Por qué y Cómo? Juntas en el concreto. Losas sobre el suelo*. Recuperado el 10 de Febrero de 2011, de http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP_06_ES.pdf

Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología del Concreto*. Mexico: TRILLAS.
Norma Venezolana 1753. (2006). *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0255. (1988). *Agregados. Determinación de la composición granulométrica*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0263. (1978). *Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0266. (1977). *Método de Ensayo para la Resistencia al Desgaste en Agregados Gruesos Menores de 38.1 mm (1 ½") por medio de la Máquina de los Ángeles*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0268. (1998). *Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0277. (2000). *Concreto. Agregados. Requisitos*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0269. (1998). *Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0338. (2002). *Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0339. (2003). *Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams*.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2009). *Manual Del Concreto Estructural* . Caracas: SIDETUR.

Rodriguez, J. N. (2000). *Características del Concreto*. Recuperado el 10 de Febrero de 2011, de <http://www.construaprende.com/t/02/>

SENCAMER. (2008). Recuperado el Febrero de 2011, de <http://www.sencamer.gob.ve/>

Ugas F., C. T. (1977). *Ensayos De Laboratorio En Mecanica De Suelos*. Caracas: Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

GLOSARIO

Adherencia: Esfuerzo que se opone a la separación de dos cuerpos que están en contacto.

Adhesivo: Sustancia capaz de mantener juntos materiales, por la unión de sus superficies.

Adhesivo epóxico: Adhesivos en forma de resina más activador.

Agregado: Material granular inerte, el cual se mezcla con cemento hidráulico y agua para producir concreto.

ASTM: Sociedad Americana para el Ensaye e Inspección de los Materiales, (American Society for Testing Material).

Clase de concreto: Diferenciación entre concretos de diferente resistencia dentro de una misma obra.

Cohesión: Atracción molecular que mantiene unido el cuerpo de un sellador o adhesivo.

Concreto: Mezcla de cemento Portland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.

Concreto estructural: Concretos usados para propósitos estructurales, incluyendo los concretos simples y los reforzados.

Esfuerzo: intensidad de fuerza por unidad de área.

Grouting: Morteros usados como relleno para la nivelación de equipos o reparaciones. Pueden ser expansivos o hasta de retracción compensada.

Junta: Indentación ó aserrado intencional en una estructura de concreto con el fin de crear un plano débil con lo cual se regula la fisuración que resulta de cambios dimensionales en diferentes partes de la estructura.

Poliadición: Reacción de la formación de polímeros sin eliminación de moléculas.

Policondensación: Conjunto de las reacciones mediante las cuales diversas sustancias se unen para dar un cuerpo de elevada masa molecular.

Polimerización: Reacción que, a partir de moléculas de escasa masa molecular, forma por enlaces de éstas, compuestos de enlace molecular.

Polimeros: Compuesto químico de elevado peso molecular formado por polimerización.

Resistencia a la tracción por flexión: Es el valor aparente de la tensión máxima de tracción de una viga de concreto, sometida a una carga que produce la rotura en flexión, suponiendo condiciones de homogeneidad y elasticidad del material. Anteriormente denominado módulo de rotura.

Resistencia especificada del concreto a la compresión: Resistencia a la compresión del concreto, f'_c , usada para el proyecto y evaluada de acuerdo a las disposiciones del Capítulo 5 norma Venezolana 1753:2006, expresada en kgf/cm².

Resistencia promedio a la compresión requerida: Resistencia promedio a la compresión requerida, f'_{cr} , que debe alcanzar el suplidor de concreto. Este valor depende del control de calidad y siempre es mayor que f'_c .

Resina: material orgánico sólido, generalmente no soluble en agua, que tiene poca o ninguna tendencia a cristalizarse.

Reticulación: Formación de enlaces químicos según las diferentes direcciones del espacio a lo largo de una polimerización, de una policondensación, o de una poliadición, y que originan una red solida.

Tamaño máximo del agregado: Abertura del tamiz de malla cuadrada de menor tamaño que deja pasar al menos el 95% en peso de una muestra de agregado, ensayada de acuerdo con la Norma Venezolana 255.

Termorrígidos: Material entrecruzado, duro y no flexible, no son maleables.

ANEXOS

Anexo 1

Requerimientos Físicos de los Sistemas Adherentes.

TABLE 1. Physical Requirements of Bonding Systems

Property	Type						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Viscosity, P [Pa·s]:							
Grade 1, max	20[2.0]	20[2.0]	20[2.0]	20[2.0]	20[2.0]	...	...
Grade 2, min	20[2.0]	20[2.0]	20[2.0]	20[2.0]	20[2.0]	...	...
max	100[10]	100[10]	100[10]	100[10]	100[10]	...	...
Consistency, in [mm]:							
Grade 3, Types I, II, III, IV, V, VI, VII, max	¼[6.0]	¼[6.0]	¼[6.0]	¼[6.0]	¼[6.0]	¼[6.0]	¼[6.0]
Gel time, minutes, min	30	30	30	30	30	30	30
Bond strength, min, psi [MPa]:							
2 days (moist cure)	1000[7.0]	...	...	1000[7.0]	...	1000[7.0]	...
14 days (moist cure)	1500[10.0]	1500[10.0]	1500[10.0]	1500[10.0]	1500[10.0]	...	1000[7.0]
Absorption, 24 h max, %	1	1	1	1	1	...	...
Heat Deflection Temperature, min, °F [°C]:							
7 days	...	...	...	120[50]	120[50]	...	...
14 days	...	...	...	...	...	120[50]	120[50]
Thermal compatibility	...	...	passes test	...	...	...	...
Linear coefficient of shrinkage on cure, max	0.005	0.005	...	0.005	0.005	...	...
Compressive Yield Strength, min, psi [MPa]:							
24 h	...	...	...	...	...	2000[14.0]	...
36 h	...	...	...	...	...	...	1000[7.0]
48 h	...	...	...	...	...	6000[40.0]	...
72 h	...	...	...	...	...	...	2000[14.0]
7 days	8000[55.0]	5000[35.0]	...	10 000[70.0]	8000[55.0]	...	...
Compressive Modulus, psi [MPa]							
Min	150 000[1000]	90 000[600]	...	200 000[1400]	150 000[1000]	...	...
Max	...	...	130 000[896]	...	...	...	...
Tensile Strength, 7 days min, psi [MPa] ⁴	5000[35.0]	2000[14.0]	...	7000[50.0]	6000[40.0]	...	...
Elongation at Break, %, min	1	1	30	1	1	...	...
Contact strength, psi [MPa] min							
2 days	...	...	...	...	...	1000[7.0]	...
14 days	...	...	...	...	...	...	1000[7.0]

Anexo 2
Hoja Técnica del Adherente Epóxico “Epocret IR”

EPOCRET I Y IR

Sistema epóxico para adherir concreto o morteros frescos a endurecidos. Adherente universal.



DESCRIPCIÓN:

El **EPOCRET I y IR**, es un sistema epóxico de 2 componentes a base de resinas epóxicas y poliamidas, tolerante a la humedad, utilizado para adherir concretos o morteros frescos a endurecidos y como adherente universal. El producto es de mediana viscosidad y de color gris "cemento".

RECOMENDADO PARA:

- Adherir estructuralmente dos cuerpos de concreto, especialmente entre concreto fresco y concreto endurecido.
- Como adhesivo entre diferentes tipos de materiales: cemento, baldosas, hierro, acero, aluminio y madera.
- Anclajes en pisos donde se necesite una buena penetración del producto e insensibilidad a cierta humedad.
- Imprimador para recubrimientos epóxicos en superficies que presentan cierta humedad, así como para selladores elastoméricos como el **SELLOCRET**.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS:

- Debido a la característica de la resina epóxica, la "soldadura" entre los elementos pegados adquiere más resistencia al corte que el concreto mismo.
- Su fórmula está diseñada para curar bajo presencia de humedad.
- El efecto de retardo que posee **EPOCRET I-R** en su curado, permite un tiempo de aplicación mayor, sobre todo en climas cálidos.
- La relación de mezcla: 1:1 en volumen, permite mezclar con facilidad pequeñas cantidades del producto reduciendo la posibilidad de tener desperdicios y de cometer errores.

INFORMACIÓN TÉCNICA:

Resistencia a la compresión: 550 Kg /cm² a los siete días según ASTM-C579.

Resistencia a la tensión: 100 Kg /cm² según ASTM-C307.

Elongación a la tensión: 1,80% según ASTM-C307.

Adherencia: 2 días 126 Kg. /cm² según ASTM- C-882

14 días 169 Kg /cm²

EPOCRET I

	16°C	25°C	35°C
Tiempo de contacto	45 min.	30 min.	20 min.
Curado inicial	14 hrs.	12 hrs.	8 hrs.
Curado final	7 días	7 días	7 días

EPOCRET IR

	16°C	25°C	35°C
Tiempo de contacto	90min	60min	45min
Curado inicial	26hrs	24hrs	16hrs
Curado final	7 días	7 días	7 días

Cumple con los requerimientos de la ASTM C881/C881M Tipos I, II, IV y V.

RENDIMIENTO

Proporción de mezcla (por volumen) = 1:1

PROMEDIO:

12 m²/gl: Superficie lisa.

9 m²/gl: Superficie rugosa.

MODO DE EMPLEO:

La superficie que debe recibir la capa de adhesión se prepara cuidadosamente, limpiando las partículas



EPOCRET I Y IR



sueeltas, suciedades, grasas, aceites y exceso de agua. Cierta humedad no impide la buena adhesión, porque el **EPOCRET I/I-R** cura en presencia de agua. El contenido de cada envase se agita individualmente y después se mezcla cada componente en partes iguales por volumen, preferiblemente con un agitador eléctrico de bajas revoluciones de 400 a 600 r.p.m.

La mezcla preparada se coloca inmediatamente con brocha o rodillo sobre la superficie a adherir. Observe los tiempos de aplicación, contacto y curado para cada producto (**EPOCRET I/I-R**). Para la limpieza inmediata de herramientas, se recomienda tener disponible en el sitio de trabajo "**EPOCRET THINNER**", debido a que una vez endurecido el **EPOCRET I/I-R**, ya no se puede disolver. En caso de adherir concreto nuevo sobre viejo, éste se vacía inmediatamente después de la aplicación del **EPOCRET I** (estando la resina todavía pegajosa). Al tratarse del **EPOCRET I-R**, se puede esperar el vaciado hasta 4 horas. Se recomienda hacer pruebas de campo. Se sugiere mezclar cantidades pequeñas para evitar un exceso de calor exotérmico.

PRESENTACIÓN:

Envases: Juegos (A+B) de ½ galón. (1,86 litros).
Juegos (A+B) de 2 galones (7,56 litros).

Color de mezcla: Gris Claro.

PRECAUCIONES Y LIMITACIONES:



- No debe aplicarse soldadura a elementos metálicos adheridos con **EPOCRET I/I-R**, debido a que sobrepasaría la temperatura máxima del epóxico, ocasionando el deterioro del mismo y cambiando las propiedades del producto.

ALMACENAMIENTO Y VIDA ÚTIL:

EPOCRET I/I-R deben ser almacenados en un lugar fresco y seco, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Antes de su uso y para una eficiencia óptima, todos los componentes deben estar a una temperatura entre 21°C y 27°C. La vida útil de los productos bajo estas condiciones es de un año.

HIGIENE Y SEGURIDAD:

Las resinas epóxicas contienen agentes irritantes especialmente para la piel, ojos y sistema respiratorio. El personal que maneja estos productos deberá utilizar equipo protector que incluya guantes y lentes de seguridad. Si la resina epóxica hace contacto con la piel, deberá removerse inmediatamente con un trapo seco, papel o toalla y el área de contacto deberá lavarse abundantemente con agua y jabón. No se recomienda el uso de solventes ya que estos irritarían aún más la piel. La resina curada es totalmente inocua. Para mayor información, consultar la Hoja de Seguridad de este producto.

Anexo 3

Límites de la Granulometría del Agregado Fino Norma COVENIN 0277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos)

Cedazos COVENIN ^(*)	Porcentaje que pasa		
9,51 mm; (3/8")	100		
4,76 mm; (#4)	85	-	100
2,38 mm; (#8)	60	-	95
1,19 mm; (#16)	40	-	80
595 μm; (#30)	20	-	60
297 μm; (#50)	8	-	30
149 μm; (#100)	2	-	10
75 μm; (#200)	0	-	5

Anexo 4

Límites de la Granulometría del Agregado Grueso

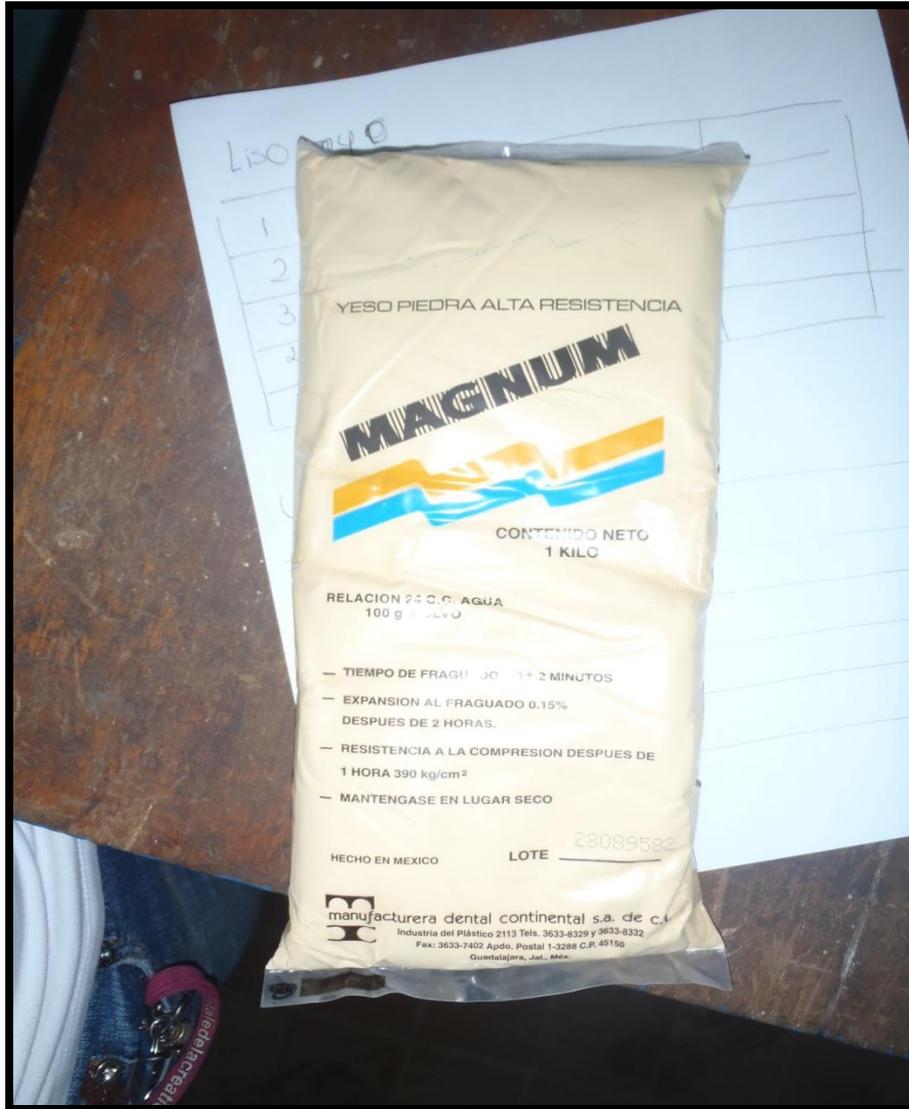
Norma COVENIN 0277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos)

Anexo 5



Probetas unidas con epóxico.

Anexo 6 Yeso Utilizado



Anexo 7

Medición y peso de los cilindros.



Ensayo de compresión a cilindro con superficie de contacto lisa, unida a las 24 horas.



Cilindros ensayados

