

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS  
DE LAS JUNTAS DE CONCRETO ENDURECIDO CON  
CONCRETO FRESCO UTILIZANDO ADHESIVO EPÓXICO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Gil Vargas, Carlos Alí

Schussler Guía, Javier Alejandro

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2012

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS DE LAS JUNTAS DE CONCRETO ENDURECIDO CON CONCRETO FRESCO UTILIZANDO ADHESIVO EPÓXICO**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Gil Vargas, Carlos Alí

Schussler Guía, Javier Alejandro

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2012

Por la presente, certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS DE LAS JUNTAS DE CONCRETO ENDURECIDO CON CONCRETO FRESCO UTILIZANDO ADHESIVO EPÓXICO”, desarrollado por los bachilleres CARLOS ALÍ GIL VARGAS Y JAVIER ALEJANDRO SCHUSSLER GUÍA para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y apariencia externa.

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

En Caracas, a los 29 días del mes de mayo del año 2012.

Prof. César Peñuela

## ACTA

El día 13 de junio se reunió el jurado formado por los profesores:

María E. Korody

José Valbuena

César Peñuela

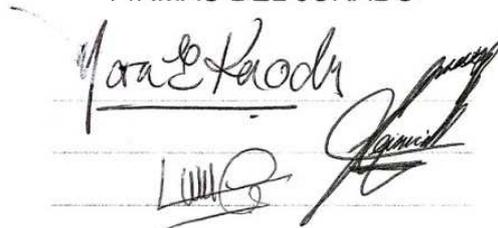
Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS DE LAS JUNTAS DE CONCRETO ENDURECIDO CON CONCRETO FRESCO UTILIZANDO ADHESIVO EPÓXICO**", presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

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

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Carlos Alí Gil Vargas	20	Veinte
Br. Javier Schussler Alejandro Guía	20	Veinte

Recomendaciones: \_\_\_\_\_

### FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 13 de junio de 2012

## **Dedicatorias**

*Dedico el presente trabajo a mis padres, Almira Vargas y Carlos Gil, por su amor y cariño brindado en todo momento.*

*A mis dos grandes amores, Yamilka Portillo y Anabella Gil, porque de ahora en adelante todo lo que haga será por y para ustedes.*

*A mis abuelos, María Rodríguez y Eurípides Gil, por estar siempre orgullosos de cada uno de mis logros; y a abuela Carmen Gómez, quien no está presente físicamente, pero que siempre vivirá en mis recuerdos y en mi corazón.*

**CARLOS GIL**

## **Dedicatorias**

*A mi familia, especialmente a mi abuela, tías, tíos y hermanos, que a lo largo de mi vida me han apoyado incondicionalmente, por todo el cariño y el amor que me han dado en todo momento, por enseñarme tantos valores, porque gracias a Dios y a ellos he podido llegar hasta aquí, porque mis logros no serían posibles sin ellos*

*Al amor de mi vida Ana Zambrano, a quien amo tanto y quien ha sido mi inspiración, mi apoyo, mi fuerza, gracias por complementarme tanto y hacerme feliz, estoy muy orgulloso de ti*

**JAVIER SCHUSSLER**

## **Agradecimientos**

*Ante todo, agradezco a Dios por darme vida, salud, amigos y una familia maravillosa, además de la oportunidad de cursar los estudios de Ingeniería Civil en la que, en mi humilde opinión, es la mejor universidad de Venezuela.*

*En segundo lugar, agradezco a mis padres, Almira Vargas y Carlos Gil, por sus constantes consejos y apoyo incondicional a lo largo de estos años de estudios; sin ustedes, no digo que no lo hubiese logrado, pero si hubiese sido mucho más difícil.*

*A mi compañera de vida, Yamilka Portillo, por estar siempre a mi lado, apoyándome en los momentos más difíciles de la carrera; y a mí bebé hermosa, Anabella Gil, a quien amo con toda mi alma y quien llegó a este mundo a cambiar mi vida por completo, haciéndola más feliz.*

*También agradezco a mis amigos y compañeros de estudios, quienes me ayudaron a recorrer este largo camino, haciéndolo mucho más fácil.*

**CARLOS GIL**

## **Agradecimientos**

*Agradezco a Dios y a la Virgen, por darme vida y salud, por darme la familia que tengo, por guiarme a lo largo de mi vida, por darme todas las cosas bonitas de mi vida, porque me considero muy dichoso y afortunado por todas las oportunidades que he tenido en mi vida*

*A mi familia, por apoyarme en todos los aspectos, por creer en mí, por guiarme, por ayudarme cuando más lo he necesitado, por sacarme adelante siempre, a pesar de cualquier dificultad,*

*A mi compañera de vida Ana Zambrano, por todo el amor que me das cada día, por impulsarme e inspirarme, por darle un sabor tan especial a cada logro junto a ti, por todo el apoyo que me has brindado, por cuidarme, por ser tan especial en mi vida*

*A la Universidad Central de Venezuela, por permitirme formarme, es un honor y un orgullo pertenecer a esta casa de estudio*

*A la profesora María Eugenia Korody, por asesorarme oportunamente, por su calidad profesional, por sus sabias palabras y consejos*

*A mis amigos y compañeros, por el apoyo brindado y por hacer este camino menos áspero*

**JAVIER SCHUSSLER**

**Gil V., Carlos A.**

**Schussler G., Javier H.**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS  
DE LAS JUNTAS DE CONCRETO ENDURECIDO CON CONCRETO  
FRESCO UTILIZANDO ADHESIVO EPÓXICO**

**Tutor Académico: Prof. César Peñuela**

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

**Escuela de Ingeniería Civil. 2012, nº pág. (119)**

**Palabras Claves:** Concreto, adhesivos epóxicos, juntas, concreto de distintas edades, resistencia a la compresión.

**Resumen**

En el presente Trabajo Especial de Grado se realizó la evaluación del comportamiento a altas temperaturas de las juntas de concreto endurecido con concreto fresco utilizando adhesivo epóxico, debido a que se han realizado estudios para el comportamiento de las juntas de construcción utilizando epóxicos, y para el comportamiento del concreto sometido a altas temperaturas, sin embargo, no se dispone actualmente de investigaciones en las cuales se fusionen estas dos condiciones. La investigación consistió en determinar, a distintas temperaturas, las resistencias de las probetas cilíndricas vaciadas en dos etapas y unidas en unos casos con el adhesivo y en otros no, a través de ensayos a compresión siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) C882/C882M:05 "Estándar Test Method For

Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear”, (Resistencia de la unión de los sistemas de epóxi-resina utilizados con concreto empleando un corte oblicuo).

Los resultados obtenidos dejan en evidencia, el efecto bastante significativo y agresivo que las altas temperaturas producen en las uniones de concreto endurecido con concreto fresco utilizando adhesivo epóxico, demostrándose que las resinas epóxicas son muy vulnerables a la temperatura, dado que para las altas temperaturas estudiadas, la capacidad resistente de las juntas disminuyó notablemente respecto al comportamiento a temperatura ambiente. No obstante, la utilización del adhesivo epóxico es en líneas generales, para los casos estudiados, un elemento ventajoso, ya que se obtuvieron valores de resistencia superiores para cada apartado estudiado, en comparación con los casos en donde no se utilizó el adhesivo epóxico.

Se recomienda, para futuros trabajos especiales de grado, que se estudie el comportamiento de las uniones a altas temperaturas para otros tipos de solicitaciones, para de esta manera obtener un registro más amplio del comportamiento de los epóxicos, que permita conocer más alcances y limitaciones de los mismos. De igual manera, se sugiere que se realicen estudios con diferentes tiempos de exposición de las probetas a las altas temperaturas, para de esta manera evaluar la influencia que tiene el tiempo de exposición en el comportamiento de las juntas

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.2. OBJETIVOS.....	5
I.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
I.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
I.3. JUSTIFICACIÓN.....	6
CAPÍTULO II .....	8
MARCO TEÓRICO .....	8
II.1. El Concreto .....	8
II.2. Agregados .....	9
II.2.1. Granulometría.....	10
II.2.2. Tamaño máximo.....	10
II.3. Características del Concreto Fresco.....	11
II.3.1. Reología .....	11
II.3.1.1. Fluidéz.....	12
II.3.1.2. Compactibilidad.....	12
II.3.1.3. Estabilidad a la Segregación .....	12
II.3.2. Trabajabilidad .....	13
II.3.2.1. Cono de Abrams .....	14
II.3.2.2. El asentamiento como índice del Contenido de Agua.....	15
II.3.3. Retracción .....	16
II.4. Resistencia mecánica del concreto .....	18
II.4.1. Resistencia a compresión.....	18
II.5. Juntas .....	19
II.5.1. Generalidades .....	19

II.5.2. Juntas de Construcción .....	19
II.6. Adherentes Epóxicos.....	20
II.6.1. Antecedentes.....	20
II.6.2. Uniones Adhesivas .....	23
II.6.3. Epóxicos .....	24
II.6.4. Epóxicos según la ASTM.....	25
II.6.4.1. Clasificación por Tipo .....	25
II.6.4.2. Clasificación por Grado .....	26
II.6.4.3. Clasificación por Clase .....	27
II.7. Modelo de Adhesión Mecánica.....	27
CAPÍTULO III .....	29
MARCO METODOLÓGICO .....	29
III.1. Metodología .....	29
III.1.1. Obtención de materiales.....	29
III.1.1.1. Agregados finos y gruesos .....	29
III.1.1.2. Cemento.....	31
III.1.1.3. Tubos de PVC .....	31
III.1.1.4. Adhesivo epóxico .....	32
III.1.2. Equipos utilizados.....	33
III.1.3. Análisis de los agregados.....	34
III.1.3.1. Composición granulométrica del agregado fino .....	34
III.1.3.2. Composición granulométrica del agregado grueso .....	34
III.1.3.3. Contenido de humedad, agregado fino y grueso.....	36
III.1.3.4. Peso específico y absorción del agregado fino .....	37
III.1.3.5. Peso específico y absorción del agregado grueso .....	39
III.1.4. Diseño de mezcla .....	40
III.1.4.1. Fundamentos del método de diseño .....	40
III.1.4.2. Relación agregado fino / agregado total.....	41

III.1.4.3. Resistencia promedio requerida .....	44
III.1.4.4. Ley de Abrams .....	44
III.1.4.5. Corrección de $\alpha$ .....	45
III.1.4.6. Relación Triangular .....	45
III.1.4.7. Correcciones del cemento .....	46
III.1.4.8. Cálculo de los componentes restantes.....	46
III.1.4.8.1. Volumen de aire atrapado .....	46
III.1.4.8.2. Volumen absoluto de agua.....	47
III.1.4.8.3. Volumen absoluto de agregados.....	47
III.1.4.8.4. Dosis de los agregados.....	48
III.1.4.8.5. Corrección por humedad.....	49
III.1.4.8.6. Dosificación de la mezcla adaptada a la capacidad de la mezcladora utilizada .....	50
III.1.5. Procedimiento en laboratorio .....	50
III.1.5.1. Fabricación de formaletas .....	50
III.1.5.1.1. Cilindros con corte a treinta grados.....	51
III.1.5.1.2. Cilindros con corte a noventa grados .....	54
III.1.5.2. Mezclas .....	55
III.1.5.3. Ensayo de Cono de Abrams.....	56
III.1.5.4. Elaboración de probetas .....	57
III.1.5.4.1. Elaboración de probetas Clase A (Testigos).....	58
III.1.5.4.2. Elaboración de probetas clase B.1.....	60
III.1.5.4.3. Elaboración de probetas clase B.2.....	62
III.1.6. Ensayos a compresión .....	68
III.1.7. Presentación de resultados .....	72
CAPÍTULO IV .....	73
RESULTADOS.....	73
IV.1. Análisis de los agregados.....	73
IV.1.1. Composición Granulométrica del Agregado Fino.....	73

IV.1.2. Composición Granulométrica del Agregado Grueso .....	74
IV.1.3. Contenido de humedad de los agregados.....	75
IV.1.4. Peso específico saturado con superficie seca .....	76
IV.2. Diseño de mezcla .....	78
IV.2.1. Parámetros de diseño .....	78
IV.2.2. Componentes de la mezcla.....	79
IV.2.3. Componentes de la mezcla corregidos .....	80
IV.3. Procedimiento en laboratorio.....	81
IV.3.1. Fabricación de probetas.....	81
IV.3.2. Medición y pesaje.....	82
IV.3.3. Componentes de la mezcla.....	86
CAPÍTULO V .....	90
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	90
V.1. Probetas unidas con epóxico a las 24 horas .....	91
V.2. Probetas unidas sin epóxico, a las 24 horas .....	92
V.3. Probetas unidas con epóxico, a los 7 días .....	93
V.4. Probetas unidas sin epóxico, a los 7 días .....	94
V.5. Comparación, Unión a las 24 horas .....	95
V.6. Comparación, Unión a los 7 días .....	96
V.7. Comparación, Unión con Epóxico .....	97
V.8. Comparación, Unión sin Epóxico .....	98
V.9. Comparación, Temperatura Ambiente .....	99
V.10. Comparación, Temperatura 300°C.....	100
V.11. Comparación, Temperatura 500°C.....	101
V.12. Comparación, Temperatura 800°C.....	102
V.13. Comparación, Variación de la resistencia en función de la temperatura .....	103
CAPÍTULO VI .....	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104

VI.1 Conclusiones.....	104
VI.2. Recomendaciones.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
GLOSARIO .....	112
ANEXOS .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura III. 1. Agregado grueso (piedra picada) .....	30
Figura III. 2. Agregado fino (arena lavada) .....	30
Figura III. 3. Cemento Portland Tipo I .....	31
Figura III. 4. Tubos de PVC, tipo reforzado, diámetro interno 6'' .....	32
Figura III. 5. Resinas epóxicas, componentes A y B .....	32
Figura III. 6. Análisis granulométrico, tamizado del agregado grueso .....	35
Figura III. 7. Peso específico, secado del material fino .....	37
Figura III. 8. Peso específico, peso sumergido del agregado grueso.....	39
Figura III. 9. Dimensiones de la formaleta cilíndrica con el corte a treinta grados.	51
Figura III. 10. Construcción de formaleta cilíndrica con corte a treinta grados .....	52
Figura III. 11. Formaletas cilíndricas con corte a treinta grados .....	53
Figura III. 12. Formaletas cilíndricas con corte a treinta grados .....	53
Figura III. 13. Formaletas cilíndricas con corte a noventa grados .....	54
Figura III. 14. Elaboración de la mezcla, pesaje del agregado fino .....	55
Figura III. 15. Elaboración de la mezcla, mezclado de los componentes .....	56
Figura III. 16. Medición del asentamiento a través de ensayo Cono de Abrams...	57
Figura III. 17. Engrasado de formaletas metálicas .....	59
Figura III. 18. Desencofrado de probetas testigos.....	59
Figura III. 19. Engrasado de formaletas con corte de treinta grados.....	60
Figura III. 20. Vaciado de probetas Clase B1 .....	61
Figura III. 21. Desencofrado de probetas Clase B1.....	61
Figura III. 22. Probeta Clase B1 .....	62
Figura III. 23. Engrasado de formaletas cilíndricas .....	63
Figura III. 24. Componentes de resinas epóxicas A y B.....	64
Figura III. 25. Mezcla de los componentes epóxicos.....	64
Figura III. 26. Aplicación del adherente epóxico.....	65
Figura III. 27. Introducción de las probetas Clase B1 en las formaletas cilíndricas	65
Figura III. 28. Vaciado de las probetas B2.....	66
Figura III. 29. Desencofrado de las probetas B2 .....	66
Figura III. 30. Probetas B2.....	67
Figura III. 31. Colocación de las probetas B2 en la piscina de curado .....	67
Figura III. 32. Medición del diámetro de los cilindros.....	69
Figura III. 33. Pesajes de los cilindros .....	69
Figura III. 34. Aplicación de calor a los cilindros en el horno.....	70
Figura III. 35. Falla de una probeta Clase B2 .....	70

Figura III. 36. Falla de una probeta Clase A1 .....	71
Figura V. 1. Falla de la probeta vaciada en dos etapas. ....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III. 1. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos de agregado. Porcentajes pasantes.....	43
Tabla III. 2. Resistencia promedio a la compresión requerida, cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar.....	44
Tabla III. 3. Características de los materiales componentes de la mezcla .....	45
Tabla III. 4. Clasificación de las probetas .....	58
Tabla IV. 1. Granulometría Agregado Fino.....	73
Tabla IV. 2. Granulometría Agregado Grueso .....	74
Tabla IV. 3. Contenido de humedad del Agregado Fino.....	75
Tabla IV. 4. Contenido de humedad del Agregado Grueso .....	76
Tabla IV. 5. Peso específico saturado con superficie seca del agregado fino.....	76
Tabla IV. 6. Porcentaje de absorción del Agregado Fino .....	77
Tabla IV. 7. Peso específico saturado con superficie seca del Agregado Grueso	77
Tabla IV. 8. Porcentaje de absorción del Agregado Grueso.....	78
Tabla IV. 9. Parámetros de entrada para el diseño de mezcla.....	78
Tabla IV. 10. Relación agua/cemento .....	79
Tabla IV. 11. Cantidades de los componentes .....	79
Tabla IV. 12. Cantidades de los componentes .....	80
Tabla IV. 13. Cantidades corregidas por humedad de los componentes, .....	80
Tabla IV. 14. Cantidades de los componentes para un saco de cemento.....	81
Tabla IV. 15. Probetas elaboradas .....	82
Tabla IV. 16. Peso y dimensiones de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas.....	83
Tabla IV. 17. Peso y dimensiones de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas.....	83
Tabla IV. 18. Peso y dimensiones de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días .....	84
Tabla IV. 19. Peso y dimensiones de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días .....	84
Tabla IV. 20. Peso y dimensiones de las probetas testigos de la unión, a las 24 horas .....	85
Tabla IV. 21. Peso y dimensiones de las probetas testigos de la unión, a los 7 días .....	85
Tabla IV. 22. Peso y dimensiones de las probetas testigos del primer vaciado ....	85

Tabla IV. 23. Resistencia a compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas.....	87
Tabla IV. 24. Resistencia a compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas.....	87
Tabla IV. 25. Resistencia a compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días.....	88
Tabla IV. 26. Resistencia a compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días.....	88
Tabla IV. 27. Resistencia a compresión de las probetas testigos de la unión, a las 24 horas .....	89
Tabla IV. 28. Resistencia a compresión de las probetas testigos de la unión, a los 7 días.....	89
Tabla IV. 29. Resistencia a compresión de las probetas testigos del primer vaciado .....	89

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica III. 1. Relación arena/agregado total .....	42
Gráfica IV. 1. Curva Granulométrica Agregado Fino .....	74
Gráfica IV. 2. Curva Granulométrica Agregado Grueso .....	75
Gráfica V. 1. Resistencias a la compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas.....	91
Gráfica V. 2. Resistencias a la compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, .....	92
Gráfica V. 3. Resistencias a la compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días.....	93
Gráfica V. 4. Resistencias a la compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días.....	94
Gráfica V. 5. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas, a las 24 horas .....	95
Gráfica V. 6. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas, a los 7 días .....	96
Gráfica V. 7. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas con adhesivo epóxico .....	97
Gráfica V. 8. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas sin adhesivo epóxico.....	98
Gráfica V. 9. Comparación de las resistencias a la compresión a temperatura ambiente en función del tipo de unión.....	99
Gráfica V. 10. Comparación de las resistencias a la compresión a 300°C de temperatura en función del tipo de unión .....	100
Gráfica V. 11. Comparación de las resistencias a la compresión a 500°C de temperatura en función del tipo de unión .....	101
Gráfica V. 12. Comparación de las resistencias a la compresión a 800°C de temperatura en función del tipo de unión .....	102
Gráfica V. 13. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura y del tipo de unión .....	103

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación III. 1. Material retenido en cada tamiz.....	35
Ecuación III. 2. Material pasante en cada tamiz.....	36
Ecuación III. 3. Contenido de humedad.....	36
Ecuación III. 4. Contenido de humedad.....	38
Ecuación III. 5. Absorción del agregado.....	38
Ecuación III. 6. Peso específico saturado con superficie seca.....	40
Ecuación III. 7. Relación agua/cemento.....	44
Ecuación III. 8. Relación triangular.....	46
Ecuación III. 9. Volumen de aire atrapado.....	46
Ecuación III. 10. Volumen de agua.....	47
Ecuación III. 11. Peso específico de los agregados combinados.....	47
Ecuación III. 12. Volumen de los agregados combinados.....	48
Ecuación III. 13. Volumen total de los agregados.....	48
Ecuación III. 14. Cantidad de agregado fino.....	48
Ecuación III. 15. Cantidad de agregado grueso.....	48
Ecuación III. 16. Peso saturado con superficie seca de los agregados.....	49
Ecuación III. 17. Cantidad de agua para la mezcla.....	49
Ecuación III. 18. Resistencia a compresión.....	71
Ecuación III. 19. Resistencia promedio.....	72

## INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción se presenta gran cantidad de inconvenientes durante la ejecución de una obra civil. Uno de estos inconvenientes es el hecho de tener que interrumpir el vaciado del concreto, generándose así, una condición para que luego allí se genere una junta falsa de construcción. En la mayoría de los casos, dichas interrupciones son planificadas de tal manera, que la unión no quede ubicada en algún elemento estructural importante que luego pueda verse comprometido al momento en que éste empiece a cumplir con su función.

En Venezuela se están utilizando productos químicos para tratar el problema de las formaciones de las juntas falsas de construcción no planificadas, debido a que estos garantizan mayor continuidad al elemento de concreto en la edificación.

Otra irregularidad no prevista en el diseño y construcción de una obra, es la exposición de la misma a un eventual caso de incendio durante su vida útil, que deteriora y disminuye la capacidad de resistencia de la estructura.

La presente investigación muestra un estudio en donde se fusionan las condiciones expuestas anteriormente; éste se lleva a cabo a través de ensayos a compresión, luego de haberlas sometido a altas temperaturas, de probetas cilíndricas vaciadas en dos etapas y unidas con y sin epóxico, de forma tal que la unión entre ellas simule la junta de construcción. Para la ejecución de este proceso, se utilizan procedimientos explícitos en las normas ASTM (American Society for Testing) y en las normas COVENIN.

Esto, a fin de obtener información necesaria sobre el comportamiento de las juntas con estas condiciones, y generar un aporte en cuanto a la disminución de la vulnerabilidad de estructuras existentes y la previsión en la construcción de futuras edificaciones, considerando medidas y soluciones que se pueden aplicar para evitar colapsos parciales o totales de las mismas en casos de incendio.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La historia del concreto va de la mano con la historia reciente del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas ha estado en una lucha implacable para delimitar su entorno vital, satisfaciendo sus necesidades de vivienda y después, levantando construcciones con requerimientos específicos.

El concreto es uno de los materiales más utilizados en las construcciones de esa índole, y desde sus inicios, en el siglo XX, este ha sido modificado gracias a los estudios y a la tecnología para mejorar sus características y propiedades; algunas de tales modificaciones, son las del aumento de su resistencia a la compresión. Hoy en día, en algunos países desarrollados, se han alcanzado resistencias que sobrepasan los 1400 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en Venezuela estos valores pueden rondar los 400 kg/ cm<sup>2</sup> (Porrero, Ramos, Grases, Velazco, 2008). Tales variaciones dependen de muchos factores, entre los cuales se incluyen tipo y calidad de los agregados, por mencionar solo algunos. A raíz de los problemas o desventajas que ha tenido el concreto a la hora de ser utilizado en las construcciones, el ser humano, nuevamente utilizando su ingenio en su incesante necesidad de creación o mejoramiento de lo ya existente, introduce en el ámbito de la construcción la aplicación de productos químicos para solventar, de alguna manera, las deficiencias del material, servir de ayuda para el mejoramiento de sus propiedades, o de garantizar la continuidad de los elementos en el momento del vaciado. Entre estos productos puede encontrarse hoy en día aditivos, adhesivos, morteros, etc.

Uno de estos productos, los “adhesivos epóxicos” específicamente, es utilizado para solventar el problema de la formación de una ocasional junta falsa de construcción durante el proceso de vaciado del material (consideración planificada); este tipo de juntas, se produce a causa de la interrupción del vaciado cuando el material resulta escaso, por fallas en la maquinaria, o bien, por demoras en los servicios de envío y recepción del mismo. La función del adhesivo, en estos casos, es la de garantizar una buena unión entre el concreto endurecido con el nuevo concreto fresco que se está colocando, y de esta manera, reducir la posibilidad de que se genere una posible zona de falla del elemento estructural, bien sea viga, losa o columna, para el momento que el mismo sea sometido a las cargas para las cuales fue diseñado en principio. Al recurrir a la unión del concreto ya fraguado con el concreto fresco, utilizando adhesivos epóxicos en un elemento (por ejemplo que esté sometido a compresión), la posibilidad de que el mismo falle es mucho menor que en el caso en que no se utiliza el adhesivo; es decir, solo se vacía el concreto sobre el otro (Parra, 2010).

Por otro lado, otra de las causas que han llevado a la continua evolución de la tecnología del concreto y de los materiales y productos que están ligados a esta rama, es que las construcciones siempre están y estarán propensas a sufrir daños, bien sea por la acción de la naturaleza o por la acción directa del hombre, específicamente en el caso de incendios; sobre este particular pueden encontrarse innumerables estudios del comportamiento de los materiales de construcción y especialmente del concreto. Para tener una idea de cómo afectan las altas temperaturas a los materiales, se puede decir que a los 400 °C el acero se vuelve dúctil y a los 600 °C se produce una bajada brusca de su resistencia. El concreto comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380 °C en períodos prolongados de tiempo. A los 400 °C se produce una pérdida de resistencia entre 15-25 %, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800°C, deja de poseer una resistencia a la compresión viable, y se debilitará en mayor medida al

enfriarse cuando se apague el fuego. En el caso del concreto armado, básicamente algunos de los efectos del fuego podrían resumirse en: una disminución de la resistencia del concreto cuando su temperatura supera los 380°C durante períodos prolongados, disminución de la resistencia de las armaduras de acero cuando la temperatura supera los 250°C y daño o destrucción de las juntas y sellados, lo que en determinadas estructuras puede conducir al colapso (Faller, 2004).

Lo anteriormente expuesto, evidencia que se han realizado estudios tanto para el comportamiento de las juntas de construcción formadas utilizando adhesivos epóxicos, así como para el comportamiento del concreto sometido a altas temperaturas; sin embargo, no se dispone actualmente de investigaciones en las cuales se fusionen estas dos condiciones que bien suelen darse en la práctica. Por lo tanto, no suele tomarse en consideración durante el diseño y construcción de las estructuras de concreto armado, la eventual situación de cómo pudiera responder un elemento estructural de una edificación, frente a la acción de incendio y en la que a su vez también se ha implementado por ocasionales interrupciones en el vaciado, una unión concreto-adhesivo epóxico que garantice a posterior la continuidad de las propiedades del material concreto del elemento.

Es por esta razón que la finalidad del presente proyecto es evaluar ese tipo de situaciones, es decir, cómo se comporta una junta en la que se utilizó adhesivo epóxico para unir el concreto vaciado en etapas, y compararla con el caso en el que no se utiliza el adhesivo. Esta evaluación se hará simulando temperaturas de entre 300 y 800°C.

## **I.2. OBJETIVOS**

### **I.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento de las juntas en la unión de concreto endurecido con concreto fresco, sometidas a compresión y altas temperaturas utilizando un adhesivo epóxico tipo V.

### **I.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar la resistencia a compresión de la junta en probetas de concreto endurecido adherido a concreto fresco, a temperatura ambiente, en un caso, utilizando el epóxico como adherente, y en otro, sin la utilización del mismo.

Determinar la resistencia a compresión de la junta, en distintas probetas de concreto endurecido adherido a concreto fresco, con y sin la utilización del epóxico como adherente, estando sometidas a temperaturas de 300, 500 y 800°C, respectivamente.

Analizar la variación de la resistencia a compresión de la junta en las distintas probetas, en función de la temperatura a las cuales fueron ensayadas.

Contrastar las resistencias a altas temperaturas con las resistencias a temperaturas habituales, para el caso en que se utilizó el adhesivo epóxico como adherente, y para el caso en que no se utilizó.

### **I.3. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto es de importante y particular relevancia en diferentes aspectos. Representa un gran aporte a la tecnología del concreto, porque a través de la realización del mismo se va a generar una cantidad importante de información, tanto cualitativa como cuantitativa, del comportamiento a compresión de las juntas generadas para unir el concreto viejo con el nuevo a través del uso de adhesivos epóxicos, sometidas a altas temperaturas, es decir, simulando condiciones de incendio que son de especial interés, dada la vulnerabilidad intrínseca de las estructuras a sufrir incendios (riesgo implícito debido al uso humano), y las potenciales consecuencias catastróficas adicionales por un eventual colapso (aparte de las ya conocidas consecuencias desastrosas de los incendios cuando sobrevive la estructura).

Desde el punto de vista metodológico, crea un indudable precedente en la realización de ensayos con la fusión de dos condiciones muy particulares del concreto, como lo son las juntas formadas con adhesivos epóxicos y las altas temperaturas de incendio, lo cual naturalmente implicará un valioso aporte para futuras investigaciones, aparte de generar variadas interrogantes acerca del comportamiento del concreto sometido a condiciones combinadas, que cada vez se hacen más comunes dado el desarrollo de las diferentes tecnologías y productos asociados al concreto. De esta manera, abre un abanico de posibilidades para proyectos e investigaciones a futuro, donde se involucren otros productos y condiciones, así como otro tipo de sollicitaciones a las que puede estar sometido el concreto en su vida útil.

Así mismo, este proyecto puede tener una marcada relevancia e impacto social, debido a que, desde el punto de vista humano, se pueden evitar y mitigar las consecuencias catastróficas, a través del conocimiento certero del efecto de las altas temperaturas en juntas de concreto sometidas a compresión cuando en las

mismas han sido usados adhesivos epóxicos, lo cual genera un gran aporte en la disminución de la vulnerabilidad de estructuras existentes y en la previsión en la construcción de futuras estructuras, considerando medidas y soluciones que se pueden aplicar para evitar colapsos parciales o totales de las estructuras en casos de incendio, tomando en cuenta las limitaciones de los productos para el concreto que existen en el mercado, en nuestro caso, por supuesto, específicamente los adhesivos epóxicos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **II.1. El Concreto**

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción venezolana; es una mezcla diseñada a base de cemento, agua y agregados, en algunos casos se emplean aditivos. Es también llamado hormigón; Porrero (2009) lo define como un material constituido en 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 docilidad, asentamiento, y otros que definen al concreto fresco; la resistencia, por su 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 va a depender de la calidad de sus componentes, de su diseño de mezcla y su posterior manejo, de los cuidados de uso y mantenimiento (Porrero, Ramos, Grases y 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 propias es el tamaño del agregado grueso; éste debe ser mayor a un cuarto (1/4) de pulgada de diámetro; si es menor, es conocido como mortero (Hornbostel, 1999).

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 herramientas necesarias, y de forma mecánica utilizando mezcladoras, que no son más que rotores que de forma equivalente 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 hoy en día pueden encontrarse lejos de cursos de agua (Porreo, Ramos, Grases y Velazco, 2009).

Los agregados gruesos provienen de trozos de roca triturados 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 la roca original: forma y tamaño de la partícula, textura de superficie y absorción; las cuales pueden influir considerablemente en la calidad del concreto fresco y fraguado (Neville y 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. Según Porrero (2009), se puede clasificar la obtención de estos agregados 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, con lo cual, es necesario realizar los ensayos y pruebas pertinentes para determinar las propiedades y, en consecuencia, las posibilidades de ser empleados en la mezcla de concreto.

Las propiedades de los agregados, según Neville y Brooks (1998), 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, lo cual es determinado por medio de tamices, siguiendo los pasos establecidos por la norma COVENIN 255:1988, "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.3. Características del Concreto Fresco**

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido, es decir, desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa (período plástico). En este lapso, el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrado, y luego compactado manualmente o por vibración.

Ese estado de plasticidad tiene una duración diferente entre unas y otras localidades, y entre una y otra época del año, ya que las conducciones del clima tienen gran influencia. En lugares cálidos y secos, el estado fresco dura menos tiempo que en localidades húmedas y frías

Son muchas las propiedades del concreto fresco que interesan y pueden llegar a ser críticas, no solo por su relación con el manejo del concreto en ese estado, sino porque pueden servir como señal anticipada de las propiedades que pueda tener el material al endurecer posteriormente. Indicios de algún comportamiento atípico del concreto en este estado inicial avisa, en muchos casos, que en estado endurecido también puede ser impropia su calidad. En ese momento temprano, y antes de completarse los vaciados del material, es cuando se deben ejecutar las correcciones. El comportamiento del concreto fresco depende de sus componentes, de las características del mezclado, de su diseño, del medio ambiente circundante y de las condiciones de trabajo.

#### **II.3.1. Reología**

Bajo el término ´reología del concreto´ se agrupa un conjunto de características de la mezcla fresca que posibilita su manejo y posterior compactación. Desde el

punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo.

En la práctica, se define la reología del concreto con base en tres características: Fluidez, Compactibilidad y Estabilidad a la segregación.

#### II.3.1.1. Fluidez

La fluidez describe la cantidad de fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. En un sentido general, la palabra 'trabajabilidad' también se emplea con el significado de fluidez. Consistencia es la condición de 'tieso' y se puede considerar el antónimo de fluidez.

#### II.3.1.2. Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace mas fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta es la propiedad que se conoce como tixotropía, es decir, atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento, y es la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde.

#### II.3.1.3. Estabilidad a la Segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire; en esta mezcla, existe la natural tendencia a que sus componentes se separen unos de otros. La separación del agua de los restantes componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado, se conoce como exudación o sangrado, y tiene propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separarse los granos gruesos del mortero, la que se conoce como

segregación, depende de la viscosidad y de la tixotropía, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. En algunos constructores, existe la indebida tendencia a trabajar con concretos de alta fluidez, que son fáciles de colocar y alisar; lo indebido es que, para obtenerlos, no diseñan mezclas especiales o solicitan concretos premezclados con aditivos, sino que, simplemente, añaden agua a la mezcla, indiscriminadamente. Eso produce un daño directo a la resistencia mecánica, favorece la aparición de grietas por retracción y le quita defensas al concreto para lograr durabilidad, aparte de que hace a la mezcla propensa a la segregación.

### **II.3.2. Trabajabilidad**

En la tecnología del concreto, la palabra trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo sólo es parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas.

Desde hace algún tiempo, estudiosos de la materia señalan la conveniencia de diferenciar con mayor claridad los conceptos relativos a: i) la plasticidad en sí de la mezcla (docilidad, consistencia) y, ii) la facilidad de usarla (trabajabilidad, colocabilidad). Se requieren métodos de ensayo que permitan medir, respectivamente, dichas características, pero, hasta el momento, no se han logrado con suficiente éxito. Tales son, por ejemplo, entre otros, el Plasticímetro LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), y el medidor CES (Centre d'Essais des Structures). Ante estas opciones, el método del Cono de Abrams sigue teniendo vasta aplicación, pues, aún cuando no revela específicamente

ciertas propiedades reológicas de la mezcla, el uso de la información que ofrece ha permitido la toma de decisiones acertadas.

#### II.3.2.1. Cono de Abrams

El asentamiento medido con el Cono de Abrams, según la norma Convein 339, "Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams y ASTM C143, es un índice bastante práctico; aunque no mide todas las propiedades plásticas de la mezcla, ni las valora con el mismo grado de influencia que ellas realmente tienen en el concreto, brinda una información útil, sobre todo en términos comparativos. Se usan también otros métodos de ensayo que, aun adoleciendo de restricciones similares a las del Cono, valoran el grado de influencia de las propiedades reológicas de otra forma, y resultan más convenientes en algunos casos específicos. Como índice general, estos otros métodos no tienen ventajas decisivas sobre el Cono, lo cual, unido a la facilidad práctica de ejecución del ensayo de Abrams, a la experiencia de su empleo y a la simplicidad de su equipo, hacen que el Cono sea el método más empleado, con gran diferencia respecto a los otros.

Independientemente de estos aspectos, el Cono tiene limitaciones, ya que es útil solamente para concretos con agregados pétreos, tamaños máximos menores a 5 centímetros y con relativa plasticidad, caracterizada por asentamientos entre unos 2 y 17 centímetros.

Otra limitación del Cono de Abrams es su insensibilidad para concretos ásperos o pedregosos. En los concretos normales, la masa del Cono, ya desmoldada, suele quedar de forma más o menos abombada según su asentamiento, simétrica y con la superficie superior casi plana. Las mezclas pedregosas, al ser desmoldadas, suelen tomar forma del Cono con su base superior inclinada o totalmente caída

lateralmente, o se desmoronan, según sea su contenido de agua. En cierto modo, este resultado indicaría un concreto propenso a la segregación.

La propiedad del concreto fresco menos representada por el Cono es la compactibilidad. El ensayo utiliza como única energía de deformación la gravedad, mientras que, en la práctica, sobre esa fuerza se sobreponen las proporcionadas por otros medios en especial por la vibración, de tal manera que el Cono no puede representar adecuadamente la mayor o menor facilidad que puede tener el material para acomodarse en el encofrado, entre las armaduras. Para evaluar ese aspecto es preciso acudir a algunos de los otros procedimientos, menos usuales.

#### II.3.2.2. El asentamiento como índice del Contenido de Agua

Los ensayos, entre ellos el tan frecuente Cono de Abrams, además de dar información sobre aspectos de la reología del concreto, sirven como una medida indirecta del contenido de agua de la mezcla y de ciertas variaciones en algunas propiedades de los componentes. Ambos datos son importantes para quienes están diseñando las mezclas. Esto pone de manifiesto la atención y el cuidado con que deben ser realizados los ensayos, de los que se obtienen informaciones directrices.

Cuando se elaboran mezclas de concreto, se debe precisar la cantidad de agua que contienen, midiendo directamente la que se ha añadido y calculando la que puede haber sido aportada por los agregados húmedos, o la que, al contrario, puede ser absorbida por los agregados secos. Con este dato preciso del contenido de agua se puede calcular la efectiva relación agua/cemento de la pasta, obteniendo con ello una primera e importante indicación sobre la resistencia mecánica que alcanzará el material. Sin embargo, en la práctica, no siempre se tiene seguridad sobre la cantidad de agua cedida o restada por los agregados, lo que resulta en una cierta imprecisión en la calidad de la mezcla. Si se mantienen

constantes todas las otras condiciones, la trabajabilidad, evaluada por medio del Cono de Abrams, está ligada a la relación agua/cemento, y resulta una medida adicional que nos brinda mayor seguridad en nuestras decisiones, ya que se relaciona con el contenido real de agua en la mezcla, independientemente de su procedencia.

El ensayo de trabajabilidad es sensible a cambios, por ejemplo, en la calidad granulométrica de los agregados, por lo que su información no es, por sí sola, una medida precisa del contenido de agua, sino que refleja también otras variables. Para tener mayor seguridad en las decisiones tomadas en la obra, respecto al contenido de agua en las mezclas, se deben conjugar los datos de las mediciones directas con los resultados del ensayo de Abrams.

Cuando se ejerce un control efectivo de la trabajabilidad, la cantidad de agua debe ser precisada por medición directa; así mismo, el cálculo de la adición o resta de agua por parte de los agregados, debe realizarse con la mayor exactitud posible. El dato de la trabajabilidad pasa a ser, entonces, un índice valioso para reflejar los posibles cambios en los agregados, relativos tanto a su proporción como a su granulometría. Estos cambios, una vez detectados por este rápido procedimiento, son susceptibles de corrección.

### **II.3.3. Retracción**

Otra característica del concreto que se debe tomar en consideración, es la retracción, fenómeno de encogimiento o disminución de volumen que sufre el material con el tiempo, debido principalmente a la pérdida parcial de agua en las primeras horas y que puede llegar a producir grietas en el material. En las estructuras, la retracción se logra aminorar mediante una adecuada distribución de las armaduras de acero, las cuales la restringen y la reparten de forma más conveniente.

La retracción depende de numerosos factores tales como la geometría de las piezas, las condiciones atmosféricas de velocidad del viento, humedad y temperatura, y la proporción de los componentes de la mezcla. Dentro de esos componentes son decisivos los ultrafinos y el agua. Los granos ultrafinos están formados por el cemento y las partículas más finas de la arena. Para mezclas que tengan arenas con cantidad de ultrafinos dentro de los límites normativos o recomendables, la retracción puede ser considerada como dependiente, fundamentalmente, de la dosis de agua y de cemento de la mezcla. Al aumentar el agua, o al aumentar conjuntamente la dosis de cemento y de agua, es decir, al aumentar la pasta, la retracción se hace mayor. El exceso de ultrafinos aumenta el requerimiento de agua para mantener la fluidez, con lo cual, hay exceso de agua y, a su vez, mayor retracción por secado.

La retracción se puede producir en dos etapas diferentes de la vida del concreto: Una, en los momentos iniciales del fraguado, debida no a la pérdida del agua libre, sino a parte del agua de la mezcla; esa es conocida como retracción de fraguado o retracción plástica. La otra, de menor escala, cuando el concreto está endurecido, generalmente al cabo de semanas o de meses, y que es conocida como retracción hidráulica (aunque hidráulicas son ambas). La retracción temprana, ligada a las condiciones ambientales de viento, humedad y temperatura, es un permanente riesgo potencial en los concretos ejecutados en clima tropical. Este riesgo se combate con buenas técnicas de curado, aun cuando, en situaciones severas, es posible que deba defenderse la calidad del concreto con toldos protectores o pantallas corta-vientos.

## **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 alcanzar 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.4.1. 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.5. Juntas**

### **II.5.1. Generalidades**

El concreto es un material en el cual, por sus propias características intrínsecas al resultar de la combinación de varios componentes, así como por las propiedades relacionadas con la pérdida de agua o con los movimientos volumétricos de la pasta al hidratarse el cemento, resulta inevitable la aparición de grietas. En la tecnología del concreto hay que contar, entonces, con la presencia de fisuras, y el objetivo no es evitarlas sino controlarlas, entendiendo por su control el hecho de que haya pocas, adecuadamente distanciadas entre sí, y con los menores espesores y profundidades posibles.

Las juntas son interrupciones intencionales en la masa del concreto o entre elementos contiguos, cuya finalidad es absorber las deformaciones de cualquier tipo que se puedan presentar, como son, por ejemplo, los movimientos estructurales previsibles, las alteraciones volumétricas hidráulicas y los efectos de variación térmica. Adicionalmente, no todo el concreto de la estructura puede colocarse de forma continua, y por ello se requieren juntas de construcción que permitan reanudar los vaciados después de un cierto tiempo.

### **II.5.2. Juntas de Construcción**

Los trabajos de colocación del concreto en una obra, normalmente deben ser interrumpidos en razón de los horarios de las jornadas laborales. Tales interrupciones deben estar previamente planificadas para que los planos de separación entre el concreto antiguo y el nuevo, queden en zonas donde no haya solicitaciones de importancia. En casos donde esto no sea posible, como sucede en la pared de un túnel, la interrupción se hace coincidir con una junta de expansión.

A veces, por falta de pericia o de capacidad instrumental en la preparación y colocación del concreto en obra, se pueden producir interrupciones en el servicio del concreto no previstas en la planificación de la obra. Estas interrupciones deben ser planificadas por los profesionales responsables de la construcción, dando origen a juntas llamadas de construcción. Sin embargo, el mejor principio es organizar bien la marcha de la obra y obviar la necesidad de estas juntas.

Para situaciones inevitables, un recurso posible que depende del tiempo supuesto para la interrupción, es el empleo de aditivos retardadores de fraguado que puedan mantener fresco el concreto anterior, para ser unido al nuevo mediante vibración. Otro recurso es el empleo de resinas epóxicas como elemento de unión del concreto anterior, ya endurecido, con el nuevo que se incorpore para darle continuidad. Si los aspectos de aplicación se hacen correctamente, estos sellos de unión son de gran efectividad.

## **II.6. Adherentes Epóxicos**

### **II.6.1. Antecedentes**

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

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

- 3000 Millones AC: 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 que por reacción con el agua les permite adherirse firmemente a las piedras. El rocío del sol, una planta carnívora, utiliza un exudado para

atrapar los insectos. También las arañas humectan sus telarañas con un adhesivo orgánico.

- 80000 AC: Primeros usos humanos, como ligante para pinturas rupestres a partir de sangre, colágenos y clara de huevo. Refuerzo de elementos constructivos, madera, paja y juncos cementados con arcilla.
- 8000 AC: Se utilizan resinas naturales de los árboles (abedul) para fijar pinturas de obsidiana y hueso en armas primitivas. Se producen los primeros adhesivos sobre la base de almidones y colas de hueso y pescado.
- 5000 AC: 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 limo, goma arábiga y el Mastix (resina de plástico).
- 3500 AC: 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 mezclan 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 de origen animal, 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, polimetilacrilato (PMMA) en Alemania.
- 1930: Primera producción industrial de polivinilacetato (P.V.A.C) y de poliacrilonitrilo (PAN).
- 1931: Primeras dispersiones estables de ésteres del ácido acrílico ya acetato de vinilo. Comienza la producción de poli cloropreno (adhesivo de contacto).
- 1936: Síntesis de la resina epoxi (Pierre Castan). Endurecimiento rápido de los poliésteres insaturados en combinación con monómero de estireno y peróxidos.
- 1937: Desarrollo de los primeros poliuretanos por la poliadición de diisocianatos y pilotes.
- 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 la 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 bases 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 mono componentes de curado por humedad "SIKAFLEX" y "BETASEAL" para el pegado – secado de parabrisas y lunetas de automóviles.
- 1970: Desarrollo de adhesivos a base de poliuretano de 1 y 2 componentes. Surgen los primeros adhesivos curados por UV. Japón desarrolla los primeros 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 (Hemflage 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.6.2. Uniones Adhesivas**

El principio que rige estas uniones es lograr que las fuerzas adhesivas siempre sean mayores que las cohesivas; conociendo esto, pudiera evaluarse y predecir el comportamiento de la unión. Dentro de la construcción, son posibles las fallas en las uniones adhesivas, y con frecuencia se debe al desconocimiento de los esfuerzos a los 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 uniones mecánicas; la temperatura también logra tensiones en las uniones, que pueden provocar fallas. Estas fallas 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.

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 manejar 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 a 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.6.3. Epóxicos**

Los adhesivos epóxicos son bicomponentes en forma de resina y activador, donde la resina presenta el adhesivo y el activador sería el endurecedor del mismo. En la actualidad, se pueden encontrar en mono componentes, reaccionando el agente endurecedor a altas temperaturas; el diseño de estos adherentes parte de lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a la 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 epóxi, por

excelencia, cumplen una función líder en adhesivos, llamados estructurales por su condición termo rígidos, es decir, conservan sus propiedades de adhesión y cohesión en una amplia franja de temperaturas.

Los adhesivos basados en resinas epoxi, se diferencian de los adhesivos de uso doméstico por su forma de polimerización, o mejor dicho, reticulación; por otra parte, la mayoría de los epóxicos comercializados en Venezuela cumplen con las normas ASTM C-881:90 (Especificaciones para sistemas de adherencia para el concreto a base de resinas epóxicas).

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

#### **II.6.4. Epóxicos según la ASTM**

La ASTM C881/C881M-02 (Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding System 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.

##### **II.6.4.1. Clasificación por Tipo**

**Tipo I:** para la unión de concreto endurecido a endurecido, u otro material en aplicaciones que 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 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 de 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 sellado de elementos prefabricados que no soportan esfuerzos, y cuando se aplica pos tensado temporal sin erección período por período.

#### II.6.4.2. Clasificación por Grado

Están distinguidos por su viscosidad y consistencia:

**Grado 1:** baja viscosidad.

**Grado 2:** media viscosidad.

**Grado 3:** consistencia no cedente.

### II.6.4.3. Clasificación por 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. Las clases A, B y C están definidas dentro del tipo I al V; las clases D, E y F, dentro del tipo VI y VII.

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

**Clase B:** para usos con temperaturas 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 temperaturas entre los cuarenta y sesenta y cinco grados Fahrenheit (40° F a 65° F).

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

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

### II.7. 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 de contacto. Por tanto,

rugosidad y porosidad son factores favorables a la adhesión. Es preciso asegurar una buena humectación del sustrato por 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 se utilizan en la construcción, está relacionado con este modelo, en relación a que se genera un plano irregular a la superficie aportando rugosidad entre los elementos de concreto de diferentes edades.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Este trabajo especial se realizó con la finalidad de evaluar el comportamiento de las juntas de construcción generadas por la unión de concretos vaciados a distintas edades, utilizando un adhesivo epóxico para la unión de la junta. Para este fin, se realizaron distintas etapas en donde se fueron cumpliendo de manera sucesiva cada uno de los objetivos específicos. La primera de estas etapas consistió en la recopilación de información; la segunda, en la obtención de los materiales de agregados y el producto químico a ser aplicado en las uniones; la tercera etapa consistió en la elaboración de las mezclas con sus respectivos vaciados; y la última etapa, en la realización de los ensayos a compresión, con sus respectivos análisis de resultados a través de tablas y gráficos. Con la culminación de estas etapas, se logró completar el objetivo general planteado. Los ensayos necesarios para la obtención de resultados fueron realizados en las instalaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

#### **III.1. Metodología**

##### **III.1.1. Obtención de materiales**

###### **III.1.1.1. Agregados finos y gruesos**

Los agregados utilizados para la elaboración de las mezclas de concretos fueron adquiridos en una ferretería, ubicada en El Valle-Caracas. El tipo de agregado fue, para el grueso, piedra triturada, y para el fino, arena lavada; los mismos fueron almacenados en bolsas para su fácil traslado.



Figura III. 1. Agregado grueso (piedra picada)

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 2. Agregado fino (arena lavada)

Fuente: Elaboración propia

### III.1.1.2. Cemento

El tipo de cemento utilizado fue el “Portland Tipo I” marca “La Vega”; el mismo fue donado por la Empresa contratista “JUMON CONSTRUCCIONES”, ubicada en la Mariposa-Caracas. Los sacos fueron resguardados en un sitio cerrado y colocados sobre una tabla de madera para evitar algún contacto con el suelo (Figura III.3).



Figura III. 3. Cemento Portland Tipo I

Fuente: Elaboración propia

### III.1.1.3. Tubos de PVC

Los tubos de PCV para la fabricación de las formaletas cilíndricas, adquiridos en una ferretería ubicada en la ciudad de Guarenas, fueron del tipo reforzado y con un diámetro de seis (6) pulgadas (Figura III.4), dado que éste es el que más se aproxima al establecido en la norma ASTM C882/C882M:05 “Standar 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 las probetas de concreto a ser ensayadas a compresión.



Figura III. 4. Tubos de PVC, tipo reforzado, diámetro interno 6”

Fuente: Elaboración propia

#### III.1.1.4. Adhesivo epóxico

El adhesivo epóxico utilizado en la unión de los concretos de distintas edades en las probetas de concreto, fue suministrado por la empresa “QUIMICON, CA”, en una presentación de dos resinas epóxicas, A y B, que al combinarse, producen el adherente. Este epóxico es del tipo Prafix SL (Figura III.5).



Figura III. 5. Resinas epóxicas, componentes A y B

Fuente: Elaboración propia

### **III.1.2. Equipos utilizados**

Para la ejecución de cada uno de los procedimientos necesarios, establecidos por las normativas y los textos para la elaboración y ensayo de cilindros de concreto, fue preciso disponer de un equipo dividido en grupos de la siguiente manera:

#### **Instrumentos**

- Cono de Abrams
- Barra compactadora
- Cuchara
- Espátula
- Martillo de goma
- Cinta métrica
- Vernier
- Formaletas
- Picnómetro
- Bandeja metálica

#### **Equipos mecánicos y/o eléctricos**

- Trozadora
- Mezcladora de eje variable (Trompo)
- Balanza
- Horno
- Prensa

### III.1.3. Análisis de los agregados

#### III.1.3.1. Composición granulométrica del agregado fino

Para la realización del análisis granulométrico del agregado fino, que tiene como objeto conocer la gradación del material en estudio, se utilizó como referencia la Norma COVENIN 255:1998 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica". El procedimiento llevado a cabo se describe a continuación:

- Se tomó una muestra representativa de 500 g.
- Se secaron los agregados a una temperatura de  $(110 \pm 5)$  °c.
- Se procedió a ensamblar los cedazos especificados en la norma (#4, #8, #16, #30, #50 y #100) en orden de tamaños de aberturas, desde arriba hacia abajo, colocando la muestra en el cedazo superior.
- Se movieron los cedazos vigorosamente hacia los lados con ambas manos, a razón de 150 veces por minuto aproximadamente, rotando el cedazo en un sexto de vuelta cada 25 golpes.
- Una vez cernida la muestra, se pesó el material retenido en cada cedazo y se calculó el porcentaje en relación a la muestra total.

#### III.1.3.2. Composición granulométrica del agregado grueso

Para el caso del análisis del agregado grueso, también se utilizó como referencia la Norma COVENIN 255:1998 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica". El procedimiento utilizado en este caso, se presenta a continuación:

- Se tomó una muestra representativa de 35 kg.
- Se secaron los agregados a una temperatura de  $(110 \pm 5)$  °c.

- Se dispuso el material en la tamizadora mecánica, utilizando los tamices especificados en la norma (1½", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y 1/4"), ordenados según los tamaños de aberturas desde arriba hacia abajo (Figura III.6).
- Una vez cernida la muestra, se pesó el material retenido en cada cedazo y se calculó el porcentaje en relación a la muestra total.



Figura III. 6. Análisis granulométrico, tamizado del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

Para los cálculos del porcentaje retenido en cada uno de los tamices utilizados en ambas granulometrías (finos y gruesos), se utilizó la siguiente ecuación III.1 (Ugas F., 1977):

$$\%Ret_i = \frac{\textit{Peso Ret. en tamiz } i}{\textit{Peso total}}$$

Ecuación III. 1. Material retenido en cada tamiz

Por otro lado, el cálculo del porcentaje pasante en cada tamiz para ambos caso se realizó en base a la siguiente ecuación III.2 (Ugas F., 1977):

$$\%Pas_i = 100\% - \sum \%Ret_i$$

Ecuación III. 2. Material pasante en cada tamiz

### III.1.3.3. Contenido de humedad, agregado fino y grueso

Para conocer el contenido de humedad de los agregados, se procedió a tomar una muestra de cada material para ser pesado; éste representó el peso húmedo para cada uno. Seguidamente, se colocó cada muestra en el horno a una temperatura de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , durante veinticuatro (24) horas. Una vez cumplido el tiempo estipulado, se pesaron las muestras de ambos materiales; tal peso se conoce como peso seco. Para el cálculo de la humedad, se utilizó la ecuación III.3 (Ugas F., 1977):

$$\omega = \frac{Wh - W_s}{W_s}$$

Ecuación III. 3. Contenido de humedad

Donde:

$Wh$ : peso húmedo (g)

$W_s$ : peso seco (g)

$\omega$ : humedad (adimensional)

#### III.1.3.4. Peso específico y absorción del agregado fino

Se tomó una muestra de agregado fino, la misma se sumergió en agua durante  $(24 \pm 4)$  h aproximadamente para saturar los poros. Luego, se removió el agua y se procedió a secar el material en un recipiente metálico, aplicándole calor con una hornilla eléctrica y revolviéndolo hasta quedar saturado con superficie seca (Figura III.7). A continuación, se seleccionó una muestra de 500 g de material para introducirla en un picnómetro con agua y proceder a tomar su peso nuevamente; previamente, se había tomado el peso del picnómetro con el agua. Por último, se secó el agregado en el horno a una temperatura de  $(105 \pm 5)$  °c y se tomó su peso. Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo como referencia la Norma COVENIN 268:1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción”.



Figura III. 7. Peso específico, secado del material fino

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el peso específico saturado con superficie seca, se aplicó la siguiente ecuación III.4 (Manual Visualizado, 2003):

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

Ecuación III. 4. Contenido de humedad

Donde:

$\gamma_s$  : peso específico saturado con superficie seca (adimensional)

$W_1$ : peso en el aire de la muestra seca (g)

$W_a$ : peso del picnómetro con agua hasta la marca de calibración (g)

$W$ : peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

$W_p$ : peso del picnómetro con el agua y la muestra (g)

Por otro lado, para el cálculo del porcentaje de absorción, se aplicó la siguiente ecuación III.5:

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

Ecuación III. 5. Absorción del agregado

Donde:

A: porcentaje de absorción (%)

W: peso húmedo de la muestra saturada con superficie seca (g)

W<sub>1</sub>: peso en el aire de la muestra seca (g)

### III.1.3.5. Peso específico y absorción del agregado grueso

En la realización del ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso se tomó como referencia la Norma COVENIN 269:1998 "Agregado grueso. Determinación de las densidades y absorción", y se procedió de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra de material grueso de 10 kg y se remojó en un recipiente con agua durante aproximadamente  $(24 \pm 4)$  h.
- Después de haberse cumplido el tiempo de espera estipulado, se procedió a sacar el material del remojo y secarlo con un paño hasta quedar saturado con superficie seca.
- Seguidamente, se tomó una muestra de ese material saturado con superficie seca de unos 5 kg, para inmediatamente colocarla en un recipiente e introducirla en al agua para determinar su peso sumergida (Figura III.8).
- Luego, se sacó el material del agua y se introdujo en el horno a una temperatura de  $(110 \pm 5)$  °c, durante  $(24 \pm 4)$  h, para su secado.
- Por último, se tomó el peso del material seco.



Figura III. 8. Peso específico, peso sumergido del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

Una vez culminado este proceso, se calculó el peso específico del agregado grueso utilizando la siguiente ecuación III.6:

$$\gamma_s = \frac{W_2}{(W_2 - W_3)}$$

Ecuación III. 6. Peso específico saturado con superficie seca

Donde:

$\gamma_s$ : peso específico saturado con superficie seca (adimensional)

$W_2$ : peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

$W_3$ : peso en el agua de la muestra saturada (g)

Para el cálculo de la absorción de la piedra picada, también se usó la ecuación III.5 expresada anteriormente.

### **III.1.4. Diseño de mezcla**

#### **III.1.4.1. Fundamentos del método de diseño**

El método de diseño de mezcla que se presenta en este trabajo de investigación, es el aplicado en el "Manual del concreto estructural", Porrero et al.(2008), el cual ha sido probado en laboratorios y en plantas de preparación comercial de concreto con excelentes resultados, y ha sido concebido especialmente para el caso de empleo de agregados poco controlados.

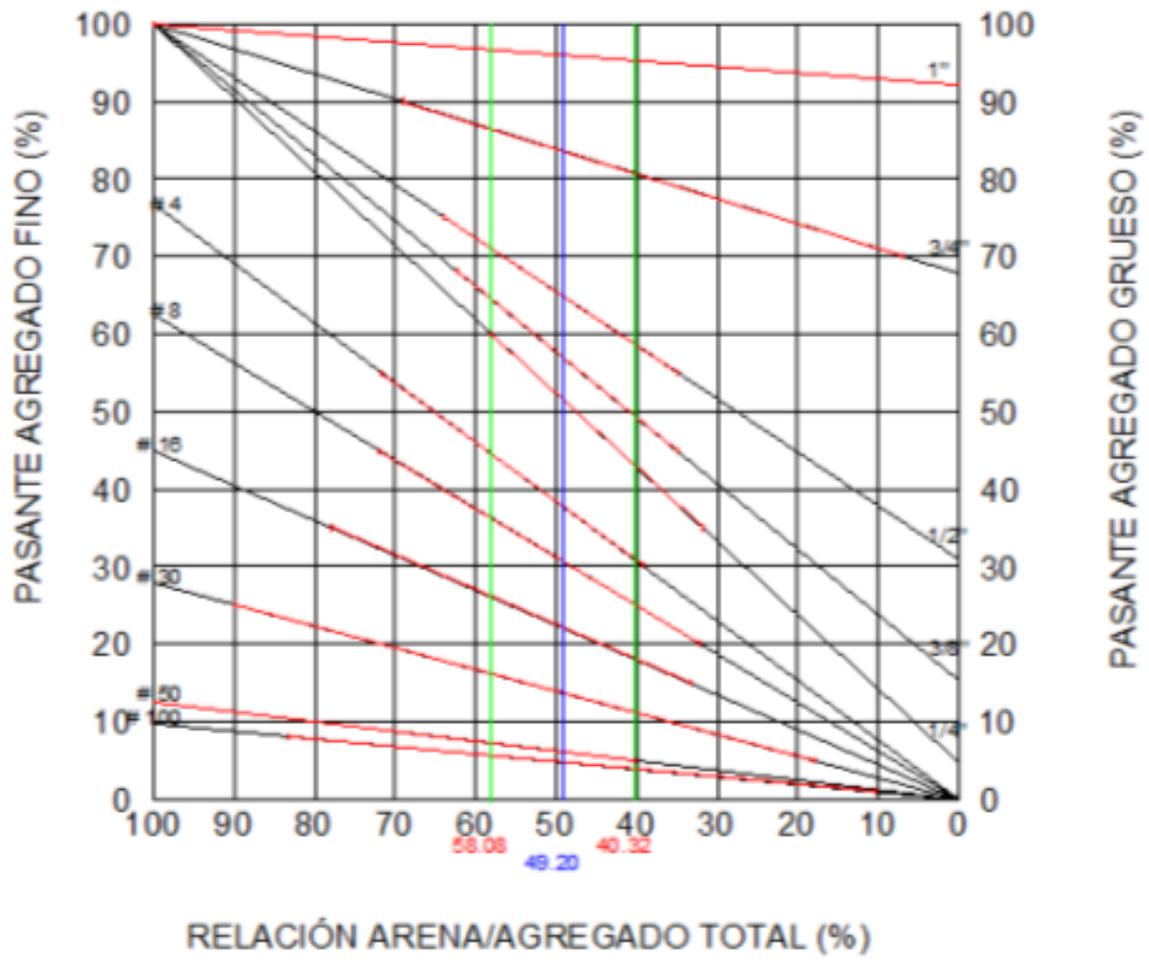
Este método considera, en primer término, un grupo de variables que constituyen su esqueleto fundamental: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. Éstas se vinculan a través de dos leyes básicas: relación triangular y Ley de Abrams.

El procedimiento llevado a cabo para el diseño de mezcla se presenta a continuación:

#### III.1.4.2. Relación agregado fino / agregado total

El valor de ( $\beta$ ), representa la relación de agregado fino y grueso con que se trabaja el diseño de mezcla. Dado que este valor se debe seleccionar de forma que el agregado tenga, para su tamaño máximo, una granulometría dentro de la zona recomendada en la tabla III.1 (Porrero et al, 2008), se utilizó el siguiente método gráfico:

- Se construyó una gráfica (Grafica III.1), en donde los ejes verticales representan los porcentajes pasantes, los agregados finos y gruesos respectivamente.
- Luego se marcó en cada eje, el porcentaje pasante correspondiente a cada tamaño de tamiz; seguidamente, se unieron con líneas los puntos de ambos ejes que pertenecían a un mismo número de cedazo.
- Sobre cada una de las rectas de proporcionalidad ya generadas, se señalaron los límites correspondientes indicados en la tabla III.1, en función del tamaño máximo de agregado.
- Seguidamente, se trazaron dos líneas verticales, una por cada punto crítico (mayor y menor) de los límites granulométricos del conjunto de tamices, estableciendo así, un rango de valores para la relación  $\beta$ .
- Por último, se escogió el valor de la relación  $\beta$ , estableciendo un promedio entre los valores extremos.



Gráfica III. 1. Relación arena/agregado total

Fuente: Elaboración propia

<b>CEDAZO</b>		<b>TAMAÑOS MÁXIMOS: mm (PULGADAS)</b>									
<b>Abertura</b>		88,9	76,2	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,53	6,35
<b>mm</b>	<b>pulg</b>	(3 1/2)	(3)	(2 1/2)	(2)	(1 1/2)	(1)	(3/4)	(1/2)	(3/8)	(1/4)
88,9	3 1/2	100-90									
76,2	3	95-80	100-90								
63,5	2 1/2	92-60	92-70	100-90							
50,8	2	85-50	87-55	87-65	100-90						
38,1	1 1/2	76-40	80-45	80-55	87-73	100-90					
25,4	1	68-33	72-38	73-47	77-59	84-70	100-90				
19,1	3/4	63-30	68-35	68-43	73-53	77-61	90-70	100-90			
12,7	1/2	57-28	62-32	62-37	68-44	70-49	75-55	85-65	100-90		
9,53	3/8	53-25	58-30	60-35	65-40	65-43	68-45	75-55	98-90	100-90	
6,35	1/4	45-22	48-25	58-30	60-35	60-35	60-35	65-45	65-51	73-61	100-90
4,76	# 4	45-22	48-25	50-28	55-30	55-30	55-30	60-38	58-42	62-48	65-52
2,38	# 8	40-20	43-20	45-20	45-20	45-20	45-20	45-20	43-37	40-26	38-26
1,19	# 16	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	31-17	26-14	21-9
0,59	# 30	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	20-10	13-5	8-2
0,29	# 50	16-7	16-7	16-7	16-7	16-7	16-5	16-5	11-5	7-3	5-1
0,14	# 100	8-2	8-2	8-2	8-2	8-2	8-1	8-1	6-1	5-1	2-0

Tabla III. 1. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos de agregado. Porcentajes pasantes

Fuente: Porrero et al, 2008

### III.1.4.3. Resistencia promedio requerida

Para el diseño de mezcla, se estableció como resistencia de cálculo ( $F_c$ ), un valor de  $300 \text{ kg/cm}^2$ .

Como no se disponía de la información suficiente para fundamentar el diseño de mezcla en la desviación estándar, por no disponer de un registro de ensayos que permitiera su cálculo, se estimó una desviación estándar en base a lo expuesto en la tabla III.2 (Porrero et al, 2008).

Resistencia especificada a la compresión $F_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Resistencia requerida a la compresión $F_{cr}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		
	Control de calidad excelente	Control de calidad intermedio	Sin control de calidad
Menor de 210	$F_c + 45$	$F_c + 80$	$F_c + 130$
De 210 a 350	$F_c + 60$	$F_c + 95$	$F_c + 170$
Más de 350	$F_c + 75$	$F_c + 110$	$F_c + 210$

Tabla III. 2. Resistencia promedio a la compresión requerida, cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar

Fuente: Porrero et al, 2008

### III.1.4.4. Ley de Abrams

Para determinar la relación agua/cemento, se utilizó la ecuación III.7, tomando como resistencia a los 28 días, el valor obtenido en la resistencia promedio requerida.

$$\alpha = 3,147 - 1,065 \times \text{Log} \bar{R}_{28}$$

Ecuación III. 7. Relación agua/cemento

Donde:

$\alpha$ : relación agua/cemento (adimensional)

$\bar{R}_{28}$ : resistencia media a la compresión del concreto a los 28 días ( $\text{kg/cm}^2$ )

#### III.1.4.5. Corrección de $\alpha$

En el método de diseño de mezcla aplicado, se establece para el cálculo de la relación  $\alpha$  la ecuación III.7, la cual depende directamente de los materiales componentes de la mezcla y de la edad del ensayo (Tabla III.3). En el caso de que cualquiera de los componentes utilizados en la mezcla fuese distintos a los establecidos en este método, se hubiese tenido que corregir la relación agua/cemento, sin embargo, ese no fue el caso.

<b>Características de los materiales componentes de la mezcla</b>	
Tipo de Agregado Fino	Arena natural
Tipo de Agregado Grueso	Triturados
Tamaño máximo de agregado	25,4 mm (1 pulg)
Tipo de cemento	Portland Tipo I
Edad del ensayo	28 días

Tabla III. 3. Características de los materiales componentes de la mezcla

Fuente: Porrero et al, 2008

#### III.1.4.6. Relación Triangular

La relación triangular depende de la trabajabilidad, la relación  $\alpha$  y la dosis de cemento, además de las constantes  $k$ ,  $m$  y  $n$ , que, como se explicó anteriormente, son función de los materiales componentes utilizados en la mezcla y en las condiciones en que se elabora la misma. Debido a que tales características concuerdan con las de los materiales utilizados en el presente trabajo, se utilizó la ecuación III.8, de la cual se obtienen buenos ajustes para el cálculo de la dosis de cemento, partiendo de un valor de asentamiento asumido.

$$C = 117,2 \times \frac{T^{0,16}}{\alpha^{1,3}}$$

Ecuación III. 8. Relación triangular

Donde:

T: asentamiento con el cono de Abrams (cm)

C: dosis de cemento ( $\text{kg/m}^3$ )

$\alpha$ : relación agua/cemento (adimensional)

#### III.1.4.7. Correcciones del cemento

Por las mismas razones ya expuestas, referentes a los componentes de la mezcla, no se corrigió la dosis de cemento por tamaño máximo ni por tamaño de agregado.

#### III.1.4.8. Cálculo de los componentes restantes

##### III.1.4.8.1. Volumen de aire atrapado

Aún con la adecuada compactación manual del concreto, en la mezcla queda aire atrapado; es por ello que en el diseño de mezcla se incorporó un volumen para tomar en cuenta este aspecto, y el mismo se calcula con la ecuación III.9.

$$V = \frac{C}{P}$$

Ecuación III. 9. Volumen de aire atrapado

Donde:

V: volumen de aire atrapado ( $\text{l/m}^3$ )

C: dosis de cemento ( $\text{kgf/m}^3$ )

P: tamaño máximo de agregado (mm)

#### III.1.4.8.2. Volumen absoluto de agua

El cálculo del volumen de agua se realizó a partir de la relación agua cemento, y se determinó mediante la siguiente ecuación III.10:

$$a = C \times \alpha$$

Ecuación III. 10. Volumen de agua

Donde:

a: dosis de agua represente en la mezcla ( $\text{kgf/m}^3$ )

C: dosis de cemento ( $\text{kgf/m}^3$ )

$\alpha$ : relación agua/cemento (adimensional)

A efectos prácticos y con poco error, un litro de agua se puede considerar como un kilogramo de agua.

#### III.1.4.8.3. Volumen absoluto de agregados

Para conocer el volumen de los agregados combinados, fue necesario el cálculo de su peso específico combinado, el cual se realizó utilizando la siguiente ecuación III.11:

$$\gamma_{(A+B)} = \beta \times \gamma_A + (1 - \beta) \times \gamma_B$$

Ecuación III. 11. Peso específico de los agregados combinados

Donde:

$\gamma_{(A+B)}$ : peso específico de los agregados combinados (adimensional)

$\gamma_A$ : peso específico del agregado fino (adimensional)

$\gamma_B$ : peso específico del agregado grueso (adimensional)

$\beta$ : relación arena/agregado total (tanto por uno)

Una vez obtenido el peso específico combinado de los agregados, se procedió con el volumen que éstos ocupan de manera combinada; para ello, se aplicó la siguiente ecuación III.2:

$$V_{(A+G)} = \frac{(A + G)}{\gamma_{(A+G)}}$$

Ecuación III. 12. Volumen de los agregados combinados

Donde:

$V_{(A+G)}$ : volumen de los agregados combinados ( $\text{kgf/m}^3$ )

$\gamma_{(A+B)}$ : peso específico de los agregados combinados (adimensional)

(A+G): peso de agregados combinados (kgf)

#### III.1.4.8.4. Dosis de los agregados

Para la preparación de un metro cúbico de concreto, la suma de los volúmenes debía dar 1000 litros; de esta manera, se pudo conocer el volumen de agregados combinados para introducirlo en la ecuación anterior.

$$V_c + V_a + V + V_{(A+G)} = 1.000 \text{ litros}$$

Ecuación III. 13. Volumen total de los agregados

Una vez hallada la dosis de agregados combinados, se procedió al cálculo de la cantidad de cada agregado por separado, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$A = \beta(A + G)$$

Ecuación III. 14. Cantidad de agregado fino

$$G = (1 - \beta)(A + G)$$

Ecuación III. 15. Cantidad de agregado grueso

Donde:

G: dosis de agregado grueso (kgf)

A: dosis de agregado fino (kgf)

$\beta$ : relación arena/agregado total (tanto por uno)

#### III.1.4.8.5. Corrección por humedad

En las distintas fases del método utilizado para el diseño de mezcla, se consideró que los agregados se encontraban saturados con superficie seca, una condición en la cual no ceden ni toman agua; sin embargo, en la práctica, esta condición no se da, es por esta razón que se debió realizar la corrección de la dosis de agua. Para ello, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$G_{SSS} = G_W \frac{(100 + Ab)}{(100 + w)}$$

Ecuación III. 16. Peso saturado con superficie seca de los agregados

Donde:

$G_{SSS}$ : dosis del agregado saturado con superficie seca (kgf)

$G_W$ : dosis del material húmedo (kgf)

Ab: capacidad del agregado que tiene para absorber agua (adimensional)

w: humedad del agregado (adimensional)

Esta ecuación es válida para el cálculo de ambos tipos de agregados (finos y gruesos).

$$a_M = a_D + A_{SSS} - Aw + G_{SSS} - G_S$$

Ecuación III. 17. Cantidad de agua para la mezcla

Donde:

$G_{SSS}$ ,  $A_{SSS}$ : dosis de agregados (arena y gruesos) supuestos saturados con superficie seca ( $\text{kgf/m}^3$ )

$G_W, A_W$ : pesos de los agregados en cualquier condición de humedad (kgf)

$a_D$ : dosis de agua calculada en el diseño de mezcla ( $\text{kgf/m}^3$ )

$a_M$ : cantidad de agua a ser utilizada en la mezcla ( $\text{l/m}^3$ )

#### III.1.4.8.6. Dosificación de la mezcla adaptada a la capacidad de la mezcladora utilizada

Debido a que la mezcladora presente en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), lugar donde se llevaría a cabo la elaboración de las mezclas de concreto, posee una capacidad máxima de ciento cuarenta (140) litros, y según Porreo, et al 2008, tales dispositivos mezcladores deben usarse en un rango de entre (50-90) % de su capacidad, se tomó la decisión de transformar los valores de las dosis de los componentes de la mezcla en función de un (1) saco de cemento; para ello, se llevo a cabo el siguiente procedimiento:

- Se calculó, en función de la dosis de cemento obtenida anteriormente en el diseño de mezcla, el porcentaje correspondiente a este valor de un (1) saco de cemento de 42,5 kgf.
- Seguidamente, se multiplicó cada valor de los componentes de la mezcla por este porcentaje hallado, obteniéndose así, las dosis definitivas del diseño.

### III.1.5. Procedimiento en laboratorio

#### III.1.5.1. Fabricación de formaletas

Para la evaluación de la resistencia en la unión de las juntas de los concretos de distintas edades, se aplicó la norma ASTM C882/C882M:05 "Standar 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). Debido a la manera poco tradicional del vaciado de las probetas, fue necesaria la fabricación de unas formaletas que se adaptaran a las condiciones establecidas en la normativa, de tal manera que se decidió construirlas utilizando tubos reforzados de PVC con diámetro de seis (6) pulgadas, medida más cercana al diámetro normativo de 15 cm para el ensayo de probetas de concreto.

#### III.1.5.1.1. Cilindros con corte a treinta grados

Fue preciso construir un molde de encofrado en el cual se pudiera crear una probeta cilíndrica con un corte oblicuo de  $30^\circ$  medidos desde la vertical, dentro del cual se vaciaría el concreto correspondiente al primer día de mezclado. Siguiendo estos lineamientos, se hicieron los cálculos necesarios para el diseño de dicha formaleta. En la Figura III.9 se pueden apreciar las dimensiones de la misma:

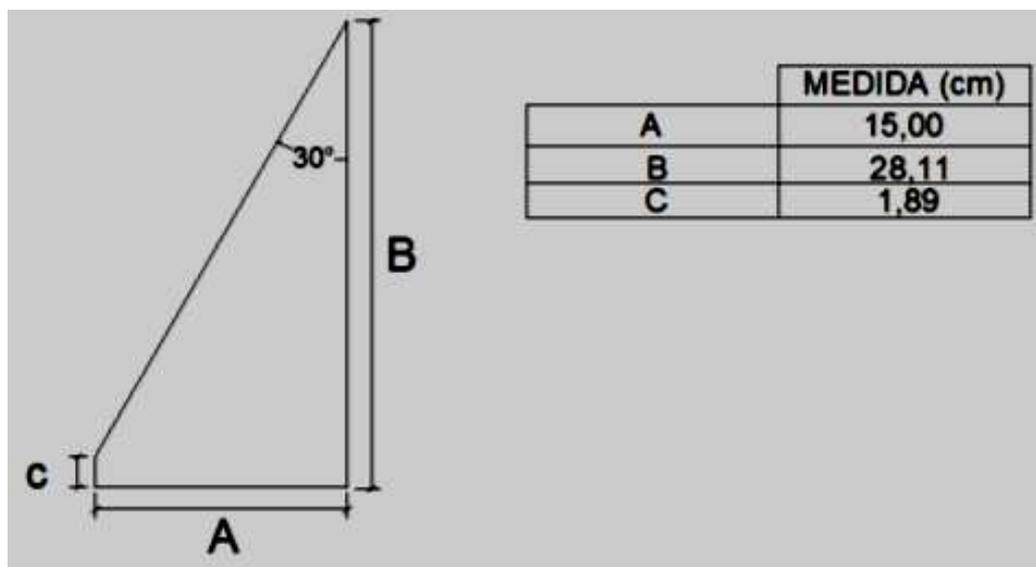


Figura III. 9. Dimensiones de la formaleta cilíndrica con el corte a treinta grados

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento llevado a cabo para la construcción de dichas formaletas, se describe a continuación:

- Se realizó una plantilla en cartulina, utilizando el método de desarrollo de sólidos. (Figura III.10 y III.11).
- Se colocó dicha plantilla sobre el tubo de PCV y se marcó con una línea puntuada por dónde debería realizarse el corte.
- Se utilizó una trozadora mecánica para realizar los cortes de los tubos.
- Seguidamente, con fórmicas de madera, se elaboraron unas bases sobre las cuales se apoyaron las formaletas; dichas bases debían tener, al igual que las formaletas, un plano inclinado de  $30^\circ$ , de manera tal que ambas coincidieran.
- Por último, se ajustaron las formaletas a las formicas de madera utilizando alambres y tornillos (Figura III.12).

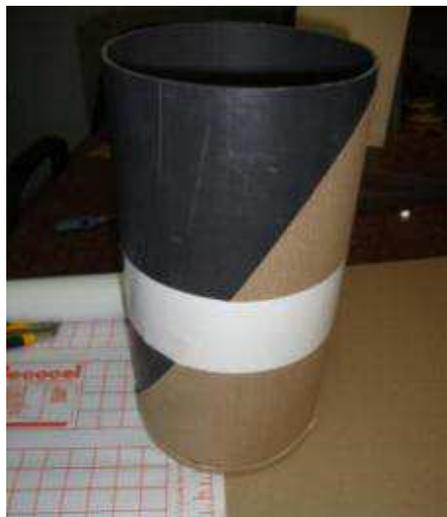


Figura III. 10. Construcción de formaleta cilíndrica con corte a treinta grados

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 11. Formaletas cilíndricas con corte a treinta grados

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 12. Formaletas cilíndricas con corte a treinta grados

Fuente: Elaboración propia

### III.1.5.1.2. Cilindros con corte a noventa grados

Una vez obtenidas las primeras medias probetas con plano oblicuo a treinta grados, se debía vaciar junto a éstas, la otra mitad para así generar la probeta completa a ser ensayada; por esta razón, se construyeron también formaletas cilíndricas de unos treinta (30) centímetros de altura; las mismas fueron realizadas de la siguiente manera:

- Se midieron sobre el tubo de PVC, distancias de treinta (30) centímetros, y se fueron marcando.
- Se realizaron los cortes sobre las marcas realizadas previamente con la maquina trozadora.



Figura III. 13. Formaletas cilíndricas con corte a noventa grados

Fuente: Elaboración propia

### III.1.5.2. Mezclas

Las mezclas elaboradas en este trabajo de investigación, se hicieron siguiendo lo establecido en la norma COVENIN 354:2001 “Concreto. Método para el mezclado en el laboratorio”. A continuación, se presenta tal procedimiento:

- Se pesaron el agua y los agregados, finos y gruesos, de acuerdo a lo calculado en el diseño de mezcla.
- Una vez encendida la mezcladora de eje variable (trompo), se agregaron los componentes de la mezcla en el siguiente orden: una primera fracción de agua para humedecer la mezcladora, media porción de la piedra, media porción de la arena; seguidamente, se colocaron las otras dos porciones de los agregados, de la misma manera, esto para garantizar una mezcla homogénea de piedra y arena; luego, se le agregó el cemento y por último, se vertió el resto del agua lentamente.
- Se mezcló durante cuatro (4) minutos.



Figura III. 14. Elaboración de la mezcla, pesaje del agregado fino

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 15. Elaboración de la mezcla, mezclado de los componentes

Fuente: Elaboración propia

### III.1.5.3. Ensayo de Cono de Abrams

Este ensayo se realizó, conforme a la norma COVENIN 339:2003 “Concreto. Método la medición del asentamiento con el cono de Abrams”, de la siguiente manera:

- Se humedeció el interior del molde y se colocó sobre una superficie horizontal metálica.
- El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la muestra de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde. Estos volúmenes corresponden respectivamente, a las alturas de 6.5 cm y 15 cm a partir de la base.
- Cada capa se compacta con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal.
- Luego, se enrasó mediante la barra compactadora. Inmediatamente, se retiró el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical.

- Por último, se midió el asentamiento a partir del tope del molde (Figura III.16).



Figura III. 16. Medición del asentamiento a través de ensayo Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia

Basándose en el hecho de que las probetas a ensayar debían contener concretos de distintas edades, fue necesario realizar varias mezclas, dividiéndolas por etapas. En cada una de las mezclas elaboradas se aplicó el mismo procedimiento de mezclado y del ensayo del cono de Abrams.

#### III.1.5.4. Elaboración de probetas

La elaboración de las probetas se realizó de manera distinta, dependiendo de su clasificación (Tabla III.4). A cada clasificación le corresponde un procedimiento de elaboración distinto, es por ello que se tratan por separado.

Clasificación de probetas	Descripción de las probetas
Clase A	Testigos
Clase B1	Primeros medios cilindros
Clase B2	Cilindros completados

Tabla III. 4. Clasificación de las probetas

Fuente: Elaboración propia

#### III.1.5.4.1. Elaboración de probetas Clase A (Testigos)

Este procedimiento se llevo a cabo en cada una de las ocasiones en que se realizó un mezclado, es decir, cuando se elaboraron las primeras treinta y dos (32) medias probetas, y en las siguientes dos (2) tandas de completación de los cilindros, con la finalidad de conocer en un futuro, la resistencia a la compresión de cada una de las mezclas. Dicho procedimiento se hizo conforme a la norma COVENIN 338:2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, aplicando los pasos descritos a continuación:

- Se seleccionaron, por cada mezcla, 2 (dos) moldes normalizados de 152,5 ±2,5 mm de diámetro y 305 + 6,0 mm de altura, y se prepararon aceitándolos.
- Se colocaron los moldes en el lugar donde se almacenarían por las primeras veinte (20) horas.
- Se vació el concreto en tres (3) capas, aplicando con la barra compactadora un número total de veinticinco (25) golpes por cada capa.
- Luego, se enrasó la superficie hasta dejarla lo más lisa posible.
- Se dejaron fraguando, por un periodo de veinte cuatro (24) horas, y una vez cumplido dicho plazo, se procedió al desencofrado.



Figura III. 17. Engrasado de formaletas metálicas

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 18. Desencofrado de probetas testigos

Fuente: Elaboración propia

#### III.1.5.4.2. Elaboración de probetas clase B.1

Para llevar a cabo este procedimiento, se tomo como referencia la norma ASTM C882/C882M:05 "Standar 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), aplicándose de la siguiente manera:

- Se tomaron los moldes con el corte de treinta (30) grados ya colocados en su base, y se engrasaron.
- Se realizó el vaciado en dos (2) capas y se le aplicaron una cantidad de veinte cinco (25) golpes por capa.
- Se enrasó la superficie para eliminar el exceso de concreto, y se alisó de manera tal que quedara un buen acabado.
- Se dejaron fraguando durante veinticuatro (24) horas.
- Se procedió a desencofrar utilizando instrumento cortante (segueta).
- Por último, se colocaron las treinta y dos (32) probetas en la piscina de curado.



Figura III. 19. Engrasado de formaletas con corte de treinta grados

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 20. Vaciado de probetas Clase B1

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 21. Desencofrado de probetas Clase B1

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 22. Probeta Clase B1

Fuente: Elaboración propia

En total, en esta etapa se realizaron treinta y dos (32) medias probetas, a razón de un par de probetas por ensayo por cada condición de temperatura y de adhesivo epóxico.

#### III.1.5.4.3. Elaboración de probetas clase B.2

Una vez listas las primeras mitades de los cilindros, se vació sobre éstas el resto del concreto, separándolas en dos grupos: con y sin aplicación de epóxicos en la junta, para así completar las probetas con mezclas de distintas edades. En esta ocasión, también se utilizó como referencia la norma ASTM C882/C882M:05 "Standar 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), procediéndose de la siguiente manera:

- Se engrasaron los moldes cilíndricos de PVC.

- Se preparó el adherente epóxico, mezclando, en un recipiente plástico, la resina A con la B en una dosificación de 1 a 1.
- Se limpiaron las superficies planas de treinta grados de las probetas, de manera tal que estuvieran libres de polvo, aceite o cualquier partícula.
- Se prepararon las superficies planas a treinta grados pasándole un cepillo de alambres para generarse una superficie rugosa que garantizara una mejor adherencia entre el concreto ya fraguado y epóxico.
- Se aplicó una primera capa de epóxico sobre el plano inclinado en el grupo de probetas que lo requerían.
- Luego, se introdujeron todos los medios cilindros, de ambos grupos, dentro de las formaletas plásticas.
- Se vació el concreto dentro de los moldes en dos capas, con una compactación de veinticinco (25) golpes con la barra metálica.
- Se enrasaron las superficies superiores de los cilindros y se les realizó un acabado liso.
- Luego, se dejaron fraguar durante veinticuatro (24) horas.
- Por último, se desencofraron los cilindros utilizando un maquina trozadora, y se introdujeron en la piscina de curado.



Figura III. 23. Engrasado de formaletas cilíndricas para la elaboración de las probetas Clase B2

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 24. Componentes de resinas epóxicas A y B  
Fuente: Elaboración propia



Figura III. 25. Mezcla de los componentes epóxicos  
Fuente: Elaboración propia



Figura III. 26. Aplicación del adherente epóxico

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 27. Introducción de las probetas Clase B1 en las formaletas cilíndricas

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 28. Vaciado de las probetas B2

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 29. Desencofrado de las probetas B2

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 30. Probetas B2

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 31. Colocación de las probetas B2 en la piscina de curado

Fuente: Elaboración propia

### **III.1.6. Ensayos a compresión**

Los ensayos a compresión se llevaron a cabo conforme a la norma COVENIN 338:2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, y se realizaron a los siete (7) y catorce (14) días de haber vaciado las segundas mitades de los cilindros, exceptuando las probetas testigos, las cuales fueron ensayadas a siete (7), catorce (14) y veinte ocho (28) días.

El procedimiento consistió en retirar las probetas de la piscina de curado al momento especificado para el ensayo; seguidamente, se tomaron las medidas de los diámetros, las alturas y los pesos de cada una; luego, se sometieron a temperaturas los cilindros, separándolos en tres (3) grupos de cuatro (4) probetas cada uno (2 con epóxico y 2 sin epóxico); cada grupo fue sometido, en un período de tiempo de una (1) hora, a una temperatura distinta, siendo estas, trescientos (300), quinientos (500) y ochocientos (800) grados centígrados. Acto seguido, se le colocó a cada cilindro, justo antes de ser ensayado, una goma de neopreno en la cara superior para garantizar que los esfuerzos aplicados se distribuyeran uniformemente. Una vez culminada esta actividad, se procedió con la compresión de los cilindros.

A las probetas se les aplicó carga hasta su ruptura, teniendo en cuenta que la misma actuaba perpendicular a la superficie. En la ruptura de cada una se tomó nota del valor de dicha carga a la que falló.



Figura III. 32. Medición del diámetro de los cilindros

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 33. Pesajes de los cilindros

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 34. Aplicación de calor a los cilindros en el horno

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 35. Falla de una probeta Clase B2

Fuente: Elaboración propia



Figura III. 36. Falla de una probeta Clase A1

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de cada cilindro, se utilizó la ecuación III.18, que relaciona la carga máxima y el área de la sección medida del cilindro.

$$R_c = \frac{P_{imax}}{A_i}$$

Ecuación III. 18. Resistencia a compresión

Donde:

Rc: resistencia a compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

Pimax: carga máxima aplicada (kgf)

Ai: área de la sección transversal del cilindro (cm<sup>2</sup>)

El promedio de las resistencias de los cilindros se determina con la siguiente ecuación:

$$R_C = \frac{\sum R_{ci}}{2}$$

Ecuación III. 19. Resistencia promedio

### **III.1.7. 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. Análisis de los agregados

Los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico para los agregados finos y gruesos, se presentan a continuación en las tablas III.5 y III.6. Los valores del porcentaje retenido y pasante se calcularon con las ecuaciones III.1 y III.2, respectivamente.

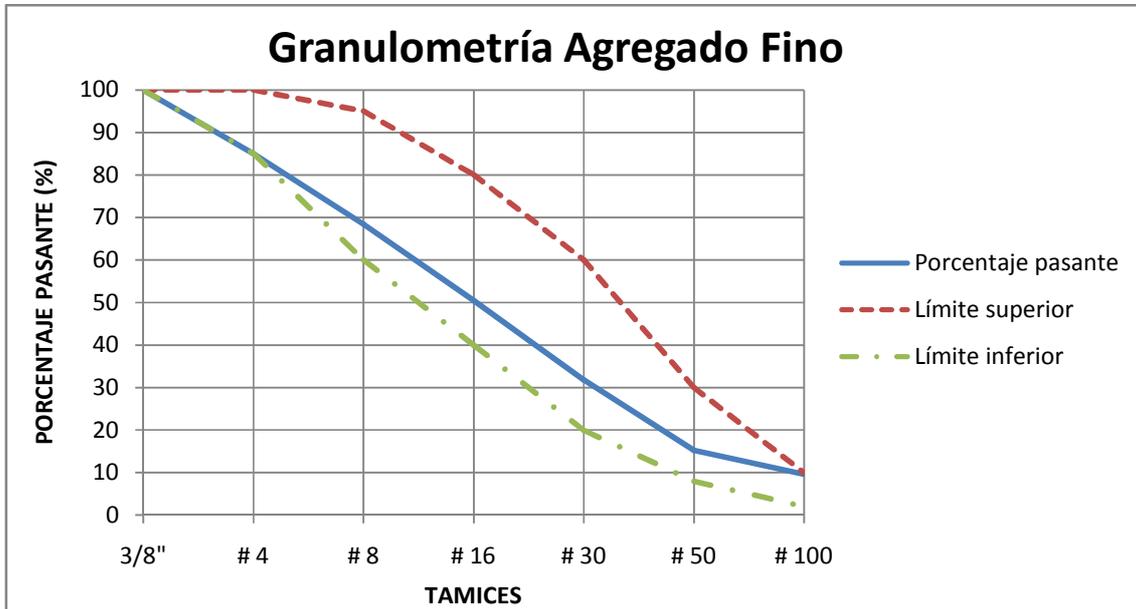
Una vez obtenido el porcentaje pasante por cada uno de los cedazos utilizados, se procedió a graficar cómo varía el mismo en función del tamaño de abertura del tamiz a través de la curva granulométrica. Conjuntamente, se graficaron las curvas granulométricas de los límites superior e inferior de porcentajes pasantes establecidos en la norma COVENIN 277:2000 “Concreto. Agregados. Requisitos” para verificar que la granulometría de la arena y el grueso, respectivamente, estuviesen dentro de sus valores máximos y mínimos.

##### IV.1.1. Composición Granulométrica del Agregado Fino

Granulometría del Agregado Fino				
Tamiz	Tamaño tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje pasante
3/8"	9,510	0	0	100,0
# 4	4,760	75	15	85,0
# 8	2,380	83	16,6	68,4
# 16	1,190	90	18	50,4
# 30	0,529	93	18,6	31,8
# 50	0,297	83	16,6	15,2
# 100	0,149	28	5,6	9,6
Fondo		48	9,6	0,0
Peso total		500		

Tabla IV. 1. Granulometría Agregado Fino

Fuente: Elaboración propia



Gráfica IV. 1. Curva Granulométrica Agregado Fino

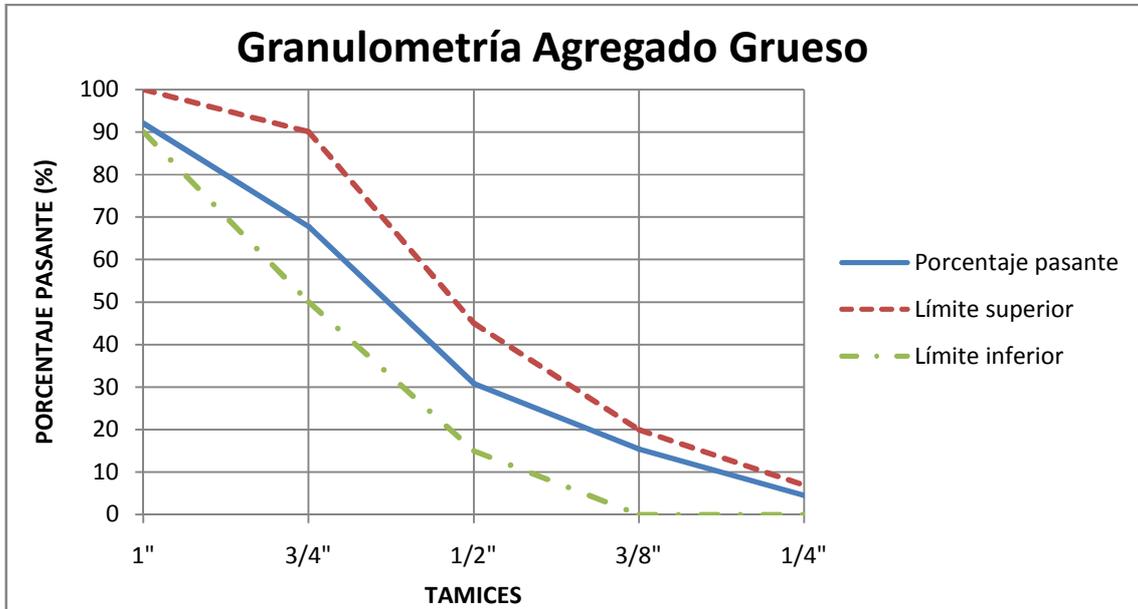
Fuente: Elaboración propia

#### IV.1.2. Composición Granulométrica del Agregado Grueso

Granulometría del Agregado Grueso				
Tamiz	Tamaño tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje pasante
1"	25,40	2800	8,00	92,00
3/4"	19,00	8500	24,29	67,71
1/2"	12,70	12900	36,86	30,86
3/8"	9,51	5400	15,43	15,43
1/4"	6,35	3800	10,86	4,57
Fondo		1600	4,57	0,00
Peso total		35000		

Tabla IV. 2. Granulometría Agregado Grueso

Fuente: Elaboración propia



Gráfica IV. 2. Curva Granulométrica Agregado Grueso

Fuente: Elaboración propia

#### IV.1.3. Contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad para cada agregado fue calculado mediante la ecuación III.3, y los resultados se presentan en las siguientes tablas:

Contenido de humedad del Agregado Fino		
$W_h$ (g)	$W_s$ (g)	$W_A$ (%)
500	476	4,80

Tabla IV. 3. Contenido de humedad del Agregado Fino

Fuente: Elaboración propia

<b>Contenido de humedad del Agregado Grueso</b>		
$W_h$ (g)	$W_s$ (g)	$\omega_G$ (%)
5000	4928	1,44

Tabla IV. 4. Contenido de humedad del Agregado Grueso

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$W_h$ : peso húmedo (g)

$W_s$ : peso seco (g)

$\omega$ : humedad (adimensional)

#### IV.1.4. Peso específico saturado con superficie seca

Los resultados obtenidos a través de los ensayos de peso saturado con superficie seca y absorción, se presentan a continuación en las tablas IV.5 y IV.6, para el agregado fino, y IV.7 y IV.8, para el grueso.

<b>Peso específico saturado con superficie seca Agregado Fino</b>				
$W_1$ (g)	$W$ (g)	$W_a$ (g)	$W_p$ (g)	$\gamma_{SA}$
484	500	1272	1582	2,55

Tabla IV. 5. Peso específico saturado con superficie seca del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$\gamma_{sA}$ : peso específico saturado con superficie seca (adimensional)

$W_1$ : peso en el aire de la muestra seca (g)

$W_a$ : peso del picnómetro con agua hasta la marca de calibración (g)

$W$ : peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

$W_p$ : peso del picnómetro con el agua y la muestra (g)

<b>Porcentaje de absorción del Agregado Fino</b>		
<b>W (g)</b>	<b>W<sub>1</sub> (g)</b>	<b>%A</b>
500	484	3,31

Tabla IV. 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 (g)

$W_1$ : peso en el aire de la muestra seca (g)

<b>Peso específico saturado con superficie seca Agregado Grueso</b>		
<b>W<sub>2</sub> (g)</b>	<b>W<sub>3</sub> (g)</b>	<b><math>\gamma_{sG}</math></b>
5000	3131,5	2,68

Tabla IV. 7. Peso específico saturado con superficie seca del Agregado Grueso

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$\gamma_s$ : peso específico saturado con superficie seca (adimensional)

$W_2$ : peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

$W_3$ : peso en el agua de la muestra saturada (g)

<b>Porcentaje de absorción del Agregado Grueso</b>		
<b>W (g)</b>	<b>W<sub>1</sub> (g)</b>	<b>%A</b>
5000	4920,9	1,61

Tabla IV. 8. Porcentaje de absorción del Agregado Grueso

Fuente: Elaboración propia

## IV.2. Diseño de mezcla

### IV.2.1. Parámetros de diseño

En la siguiente tabla se presentan los valores que sirvieron como datos de entradas para la realización del diseño de mezcla. Dichos valores fueron asumidos o calculados mediante procedimientos especificados en el Capítulo III:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Relación agregado fino/agregado total $\beta$ (%)	49,2
Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	300
Desviación estandar $\sigma$ (Control de calidad intermedio) (kgf/cm <sup>2</sup> )	95
Resistencia requerida $F_{cr}$ ( $F_c + \sigma$ ) (kgf/cm <sup>2</sup> )	395
Asentamiento T (cm)	10
Tamaño máximo de agregado P (mm)	25,4

Tabla IV. 9. Parámetros de entrada para el diseño de mezcla

Fuente: Elaboración propia

Partiendo de la resistencia requerida, y utilizando la ecuación III.7, se calculó la relación agua/cemento:

<b>Relación agua/cemento</b>	
A	0,38

Tabla IV. 10. Relación agua/cemento

Fuente: Elaboración propia

#### **IV.2.2. Componentes de la mezcla**

A partir de los valores presentados en la tabla anterior, se procedió al cálculo de las cantidades de cada componente perteneciente a la mezcla de concreto. Estos cálculos se realizaron con las ecuaciones descritas en el diseño de mezcla del capítulo tres (3), y los resultados se presentan a continuación:

<b>Diseño de mezcla para 1 m<sup>3</sup> de concreto</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Cantidad (kgf/m<sup>3</sup>)</b>
Agua	226,17
Cemento	592,65
Aire	-
Arena	736,17
Piedra	760,11

Tabla IV. 11. Cantidades de los componentes para un metro cúbico de mezcla de concreto

Fuente: Elaboración propia

### IV.2.3. Componentes de la mezcla corregidos

En las distintas fases del método utilizado para el diseño de mezcla, se consideró que los agregados se encontraban saturados con superficie seca, una condición en la cual no ceden ni toman agua; sin embargo, en la práctica, esta condición no se da, es por esta razón que se debió realizar la corrección de la dosis de agua. Para ello, se aplicó la ecuación III.16, y los resultados se presentan en las tablas IV.12. y IV.13:

$G_w$ (kgf/m <sup>3</sup> )	$A_w$ (kgf/m <sup>3</sup> )	$a_M$ (kgf/m <sup>3</sup> )
758,86	746,82	216,77

Tabla IV. 12. Cantidades de los componentes para un metro cúbico de mezcla de concreto

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$G_w, A_w$ : pesos de los agregados en cualquier condición de humedad (kgf)

$a_M$ : cantidad de agua a ser utilizada en la mezcla (l/m<sup>3</sup>)

Diseño de mezcla para 1 m <sup>3</sup> de concreto	
Componentes	Cantidad corregida por humedad (kgf/m <sup>3</sup> )
Agua	216,77
Cemento	592,65
Aire	-
Arena	746,82
Piedra	758,86

Tabla IV. 13. Cantidades corregidas por humedad de los componentes, para un metro cúbico de mezcla de concreto

Fuente: Elaboración propia

Motivado a la capacidad límite de la mezcladora de eje variable, se debió trabajar con una cantidad de mezcla menor a un metro cúbico de concreto. Por lo tanto, se decidió trabajar en función de un saco de cemento, es decir, que debió recalcularse todas las cantidades de los componentes. Estos valores recalculados se presentan en la siguiente tabla IV.14:

<b>Diseño de mezcla para 1 saco de cemento</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Cantidad (kgf/m<sup>3</sup>)</b>
Agua	15,54
Cemento	42,50
Aire	1,67
Arena	53,56
Piedra	54,42

Tabla IV. 14. Cantidades de los componentes para un saco de cemento

Fuente: Elaboración propia

### **IV.3. Procedimiento en laboratorio**

#### **IV.3.1. Fabricación de probetas**

En la tabla IV. 15, se muestra información referente a la cantidad, número de mezcla, día de vaciado, denominación y descripción del tipo de probetas elaboradas en este trabajo de investigación.

<b>Elaboración de probetas</b>				
<b>Día de vaciado</b>	<b>N° Mezcla</b>	<b>Cantidad de probetas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Denominación</b>
10/04/12	1	16	Primeras medias probetas	-
		1	Probeta testigo	-
10/04/12	2	16	Primeras medias probetas	-
		1	Probeta testigo	-
11/04/12	3	8	Unión a las 24 horas con epóxico	E-1-i
		8	Unión a las 24 horas sin epóxico	SE-1-i
		2	Probeta testigo	T-1-i
17/04/12	4	8	Unión a los 7 días con epóxico	E-2-i
		8	Unión a los 7 días sin epóxico	SE-2-i
		2	Probeta testigo	T-2-i

Tabla IV. 15. Probetas elaboradas

Fuente: Elaboración propia

#### **IV.3.2. Medición y pesaje**

Una vez transcurrido el tiempo establecido de curado para los cilindros, se procedió a tomar sus pesos y medidas de diámetros y alturas. Estos resultados se expresan en las tablas IV. 16, IV.17, IV18, IV.19, IV.20 y IV.21:

Probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
E-1-1	13,124	13,125	13,124	13,124	15,12	15,63	15,10	15,28	30,30	30,21	30,36	30,29
E-1-2	12,982	12,982	12,982	12,982	15,20	15,72	15,81	15,58	30,28	30,51	30,42	30,40
E-1-3	13,083	13,081	13,082	13,082	15,42	15,21	15,46	15,36	30,18	30,33	30,41	30,31
E-1-4	13,089	13,088	13,088	13,088	15,20	15,05	15,18	15,14	30,57	30,36	30,44	30,46
E-1-5	13,273	13,274	13,274	13,274	15,59	15,22	15,17	15,33	30,46	30,43	30,64	30,51
E-1-6	12,965	12,964	12,965	12,965	15,38	15,19	15,24	15,27	30,42	30,26	30,36	30,35
E-1-7	12,977	12,977	12,977	12,977	15,65	15,48	15,62	15,58	30,31	30,28	30,47	30,35
E-1-8	12,941	12,942	12,942	12,942	15,08	15,19	15,28	15,18	30,07	30,27	30,15	30,16

Tabla IV. 16. Peso y dimensiones de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas  
Fuente: Elaboración propia

Probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
SE-1-1	13,093	13,092	13,093	13,093	15,42	15,28	15,19	15,30	30,02	30,00	29,98	30,00
SE-1-2	13,085	13,084	13,085	13,084	15,27	15,14	15,31	15,24	30,13	30,05	30,02	30,07
SE-1-3	13,111	13,111	13,111	13,111	15,09	15,25	15,16	15,17	30,67	30,49	30,40	30,52
SE-1-4	13,153	13,151	13,152	13,152	15,35	15,21	15,32	15,29	30,70	30,59	30,52	30,60
SE-1-5	12,937	12,937	12,937	12,937	15,70	15,59	15,53	15,61	30,42	30,58	30,40	30,47
SE-1-6	13,075	13,076	13,075	13,075	15,33	15,31	15,62	15,42	30,30	30,44	30,32	30,35
SE-1-7	12,953	12,953	12,953	12,953	15,57	15,52	15,43	15,51	30,20	30,28	30,28	30,25
SE-1-8	13,006	13,006	13,006	13,006	15,30	15,14	15,18	15,21	30,27	30,42	30,47	30,39

Tabla IV. 17. Peso y dimensiones de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas  
Fuente: Elaboración propia

Probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
E-2-1	13,125	13,125	13,125	13,125	15,19	15,51	15,19	15,30	30,50	30,50	30,60	30,53
E-2-2	13,237	13,236	13,236	13,236	14,95	15,36	15,24	15,18	30,45	30,45	30,45	30,45
E-2-3	13,147	13,147	13,147	13,147	15,87	15,22	15,87	15,65	30,30	30,51	30,50	30,44
E-2-4	13,389	13,391	13,389	13,390	14,93	15,62	15,14	15,23	30,98	30,90	30,95	30,94
E-2-5	13,140	13,139	13,140	13,140	15,46	15,41	15,41	15,43	30,40	30,35	30,50	30,42
E-2-6	13,043	13,043	13,043	13,043	15,50	15,41	15,10	15,34	30,51	30,50	30,54	30,52
E-2-7	12,852	12,852	12,851	12,852	15,19	15,27	15,33	15,26	30,30	30,30	30,37	30,32
E-2-8	13,004	13,004	13,004	13,004	15,54	15,20	15,14	15,29	30,21	30,38	30,28	30,29

Tabla IV. 18. Peso y dimensiones de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días  
Fuente: Elaboración propia

Probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
SE-2-1	13,23	13,23	13,23	13,234	15,30	15,30	15,41	15,34	30,49	30,54	30,61	30,55
SE-2-2	13,26	13,26	13,26	13,261	15,66	14,96	15,89	15,50	30,50	30,50	30,50	30,50
SE-2-3	13,55	13,55	13,55	13,554	15,44	15,54	15,29	15,42	31,19	31,10	31,14	31,14
SE-2-4	12,94	12,94	12,94	12,938	15,34	15,00	15,55	15,30	30,05	29,90	30,09	30,01
SE-2-5	12,85	12,85	12,85	12,854	15,25	15,25	15,27	15,26	29,99	30,10	30,01	30,03
SE-2-6	12,99	12,99	12,99	12,987	15,50	15,51	15,46	15,49	30,40	30,36	30,20	30,32
SE-2-7	13,01	19,99	13,00	15,333	15,26	15,28	15,30	15,28	30,26	30,31	30,25	30,27
SE-2-8	13,04	13,03	13,03	13,035	15,15	15,03	15,45	15,21	30,30	30,30	30,35	30,32

Tabla IV. 19. Peso y dimensiones de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días  
Fuente: Elaboración propia

Probetas testigos de la unión, a 24 horas												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
T-1-1	12,658	12,658	12,658	12,658	15,00	14,98	14,97	14,98	30,35	30,30	30,28	30,31
T-1-2	12,705	12,706	12,705	12,705	14,90	14,93	14,92	14,92	30,27	30,21	30,31	30,26

Tabla IV. 20. Peso y dimensiones de las probetas testigos de la unión, a las 24 horas  
Fuente: Elaboración propia

Probetas testigos de la unión, a 7 días												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
T-2-1	12,611	12,611	12,611	12,611	14,96	15,04	15,00	15,00	30,19	30,31	30,24	30,25
T-2-2	12,626	12,625	12,626	12,626	14,94	14,94	14,93	14,94	30,23	30,24	30,26	30,24

Tabla IV. 21. Peso y dimensiones de las probetas testigos de la unión, a los 7 días  
Fuente: Elaboración propia

Probetas testigos del primer vaciado												
Probeta	Peso (kg)				Diámetro (cm)				Altura (cm)			
	P1	P2	P3	Pprom	D1	D2	D3	Dprom	A1	A2	A3	Aprom
T-3-1	12,514	12,516	12,516	12,515	14,98	14,99	15,01	14,99	30,21	30,25	30,07	30,18
T-3-2	12,632	12,634	12,635	12,634	15,02	15,01	15,02	15,02	30,33	30,14	30,27	30,25

Tabla IV. 22. Peso y dimensiones de las probetas testigos del primer vaciado  
Fuente: Elaboración propia

### **IV.3.3. Componentes de la mezcla**

Después de haber realizado la medición y pesaje de cada una de las probetas en sus respectivos días de ensayo, se procedió a someterlas a compresión en la prensa siguiendo los pasos expuestos anteriormente en el marco metodológico. Una vez culminado cada ensayo, se tomó el valor de ruptura de cada probeta; a continuación, dichos valores se presentan agrupados en tablas que se diferencian por tiempo de unión de los concretos. Estas tablas son las IV.23, IV.24, IV.25 y IV.26.

Además, se presenta agrupados en otras tablas, los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros testigos de cada una de las mezclas realizadas. En este caso, las tablas en cuestión son las IV.27, IV.28 y IV.29:

Probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas										
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de union	Fecha de ensayo	Edad del 1er vaciado	Edad del 2do vaciado	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
E-1-1	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	183,45	Ambiente	12.987	70,79	72,52
E-1-2	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	190,56		14.149	74,25	
E-1-3	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	185,38	300	5.835	31,48	29,51
E-1-4	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	180,11		4.961	27,54	
E-1-5	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	184,50	500	3.731	20,22	16,19
E-1-6	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	183,13		2.227	12,16	
E-1-7	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	190,73	800	1.114	5,84	7,96
E-1-8	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	181,06		1.824	10,07	

Tabla IV. 23. Resistencia a compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas

Fuente: Elaboración propia

Probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas										
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de union	Fecha de ensayo	Edad del 1er vaciado	Edad del 2do vaciado	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
SE-1-1	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	183,77	Ambiente	9.114	49,59	57,71
SE-1-2	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	182,41		12.008	65,83	
SE-1-3	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	180,66	300	4.312	23,87	25,87
SE-1-4	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	183,69		5.121	27,88	
SE-1-5	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	191,30	500	2.655	13,88	14,98
SE-1-6	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	186,75		3.002	16,08	
SE-1-7	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	188,85	800	973	5,15	4,60
SE-1-8	10/04/12	11/04/12	18/04/12	1 día	8 días	181,62		734	4,04	

Tabla IV. 24. Resistencia a compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas

Fuente: Elaboración propia

Probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días										
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de union	Fecha de ensayo	Edad de 1er vaciado	Edad del 2do vaciado	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
E-2-1	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	183,77	Ambiente	13.350	72,64	66,72
E-2-2	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	181,06		11.009	60,80	
E-2-3	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	192,44	300	5.800	30,14	28,46
E-2-4	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	182,18		4.879	26,78	
E-2-5	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	186,91	500	2.113	11,30	10,73
E-2-6	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	184,74		1.875	10,15	
E-2-7	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	182,97	800	689	3,77	4,47
E-2-8	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	183,69		951	5,18	

Tabla IV. 25. Resistencia a compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días

Fuente: Elaboración propia

Probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días										
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de union	Fecha de ensayo	Edad de 1er vaciado	Edad del 2do vaciado	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
SE-2-1	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	184,74	Ambiente	9.088	49,19	46,17
SE-2-2	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	188,77		8.143	43,14	
SE-2-3	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	186,83	300	3.253	17,41	21,61
SE-2-4	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	183,77		4.744	25,81	
SE-2-5	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	182,81	500	1.831	10,02	9,75
SE-2-6	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	188,45		1.789	9,49	
SE-2-7	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	181,70	800	696	3,83	3,42
SE-2-8	10/04/12	17/04/12	24/04/12	7 días	14 días	181,70		548	3,02	

Tabla IV. 26. Resistencia a compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días

Fuente: Elaboración propia

Probetas testigos de la unión, a 24 horas								
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
T-1-1	11/04/12	18/04/12	7 días	176,32	Ambiente	61.030	346,13	341,12
T-1-2	11/04/12	18/04/12	7 días	174,76		58.738	336,11	

Tabla IV. 27. Resistencia a compresión de las probetas testigos de la unión, a las 24 horas

Fuente: Elaboración propia

Probetas testigos de la unión, a 7 días								
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
T-2-1	17/04/12	24/04/12	7 días	176,71	Ambiente	56.963	322,34	320,02
T-2-2	17/04/12	24/04/12	7 días	175,23		55.669	317,70	

Tabla IV. 28. Resistencia a compresión de las probetas testigos de la unión, a los 7 días

Fuente: Elaboración propia

Probetas testigos del primer vaciado								
Probeta	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
T-2-1	12/04/12	8/05/12	28 días	176,08	Ambiente	67.113	381,15	383,21
T-2-2	12/04/12	8/05/12	28 días	176,29		68.084	386,21	

Tabla IV. 29. Resistencia a compresión de las probetas testigos del primer vaciado

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realizarán los correspondientes análisis de los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las probetas cilíndricas estudiadas, apoyando estos análisis con una serie de gráficas que permiten plasmar de una manera muy elocuente, el comportamiento de las juntas en la unión de concreto endurecido con concreto fresco, considerando las dos edades de uniones (veinticuatro horas y siete días), y los diferentes valores de temperatura a los cuales fueron sometidas las probetas, tanto para los casos en los que la unión se realizó utilizando el adhesivo epóxico, como para los casos en los que la unión se realizó sin la utilización del mismo.

Resulta conveniente destacar que todas las probetas estudiadas, fallaron en la unión del concreto endurecido con el concreto fresco, es decir, al ser sometidas a compresión la falla se produjo en la superficie elíptica determinada por la unión de ambos concretos, como se puede observar claramente en la figura V.1.



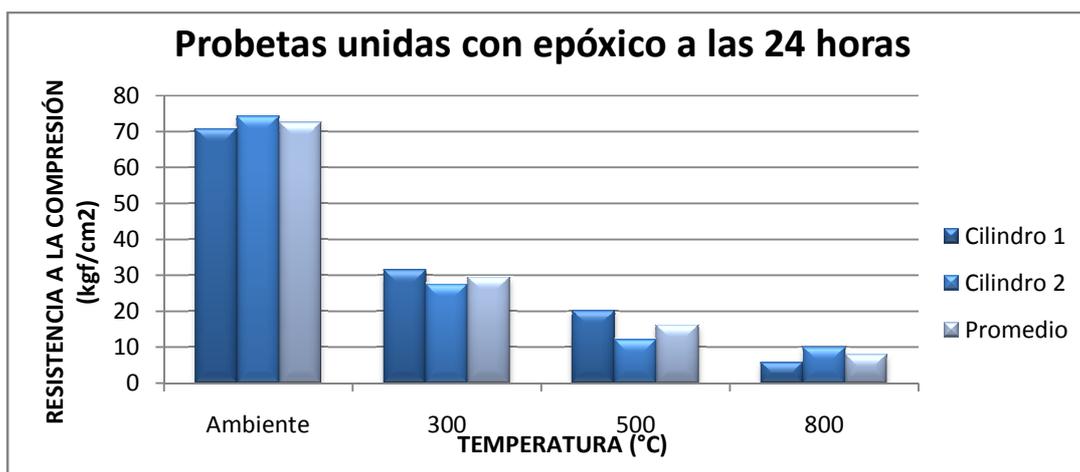
Figura V. 1. Falla de la probeta vaciada en dos etapas.

Fuente: Elaboración propia

### V.1. Probetas unidas con epóxico a las 24 horas

Los resultados obtenidos en las probetas en las cuales la unión se realizó a las 24 horas del primer vaciado, utilizando el adherente epóxico, reflejan la marcada disminución de la resistencia a compresión a medida en que va aumentando la temperatura, como se puede observar en la gráfica V.1.

Las variación de la resistencia entre las probetas evaluadas a temperatura ambiente y las evaluadas a 300 °C es bastante significativa, ya que a 300 °C se obtiene apenas un 40,69% de la resistencia a temperatura ambiente, lo cual permite interpretar que para esta temperatura el adhesivo epóxico ha perdido en buena parte sus propiedades mecánicas y adhesivas, y se puede ver comprometida la junta, y en consecuencia el elemento estructural. Para la temperatura de 500°C se obtuvo una resistencia de 22,33% respecto a la resistencia a temperatura ambiente, y para la temperatura de 800°C la resistencia obtenida representa apenas un 10,97 % de la resistencia promedio a temperatura ambiente, esto significa que en la medida en que aumenta la temperatura de una junta de un elemento estructural su capacidad resistente disminuye notablemente.

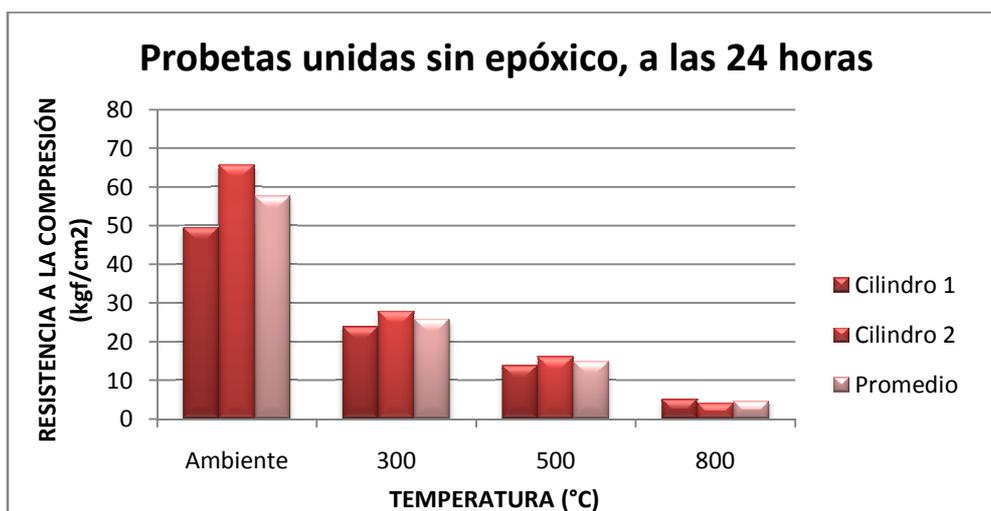


Gráfica V. 1. Resistencias a la compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a las 24 horas  
Fuente: Elaboración propia

## V.2. Probetas unidas sin epóxico, a las 24 horas

En este caso, al igual que el anterior, las uniones fueron realizadas a las 24 horas del primer vaciado, es decir, la primera mitad de las probetas cilíndricas contaba con una edad de 24 horas, y sobre las mismas se realizó la unión con el concreto fresco, pero, con la diferencia de que estas uniones se realizaron sin la utilización del adherente epóxico. La gráfica asociada a estos resultados es la Gráfica V.2.

Se puede evidenciar que la disminución de la capacidad resistente de la junta con el aumento de la temperatura, es bastante notable. Tomando como 100% la resistencia promedio obtenida en las probetas ensayadas a temperatura ambiente, se obtuvo un 44,83% para las probetas sometidas a 300 °C, lo cual indica que la unión no alcanza ni la mitad de la resistencia obtenida a temperatura ambiente; para 500 °C sigue disminuyendo la resistencia, alcanzando un 25,95% respecto a la obtenida a temperatura ambiente, y esta pérdida de resistencia se acentúa aún más, para cuando la unión es sometida a 800 °C, en donde se obtuvo un 7,97% de la resistencia a temperatura ambiente.



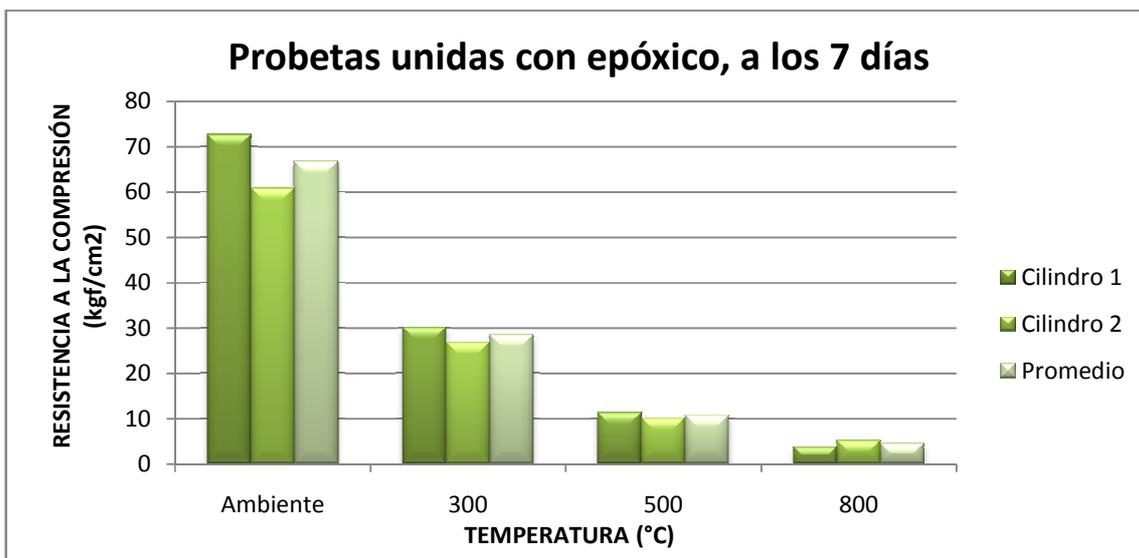
Gráfica V. 2. Resistencias a la compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a las 24 horas

Fuente: Elaboración propia

### V.3. Probetas unidas con epóxico, a los 7 días

Las probetas cilíndricas que conciernen a este caso de estudio, son aquellas en las cuales las uniones fueron realizadas a los 7 días de haberse realizado el primer vaciado, es decir, las mitades de cilindros de concreto endurecido contaban con una edad de 7 días al momento de realizarse la unión con el concreto fresco, esta unión se realizó utilizando el adherente epóxico. La gráfica V.3 refleja el comportamiento de estas uniones.

Se puede observar que el comportamiento de las juntas evaluadas a temperatura ambiente es bastante superior, en cuanto a su resistencia, que el comportamiento a temperaturas superiores, notándose un salto brusco entre la temperatura ambiente y la temperatura de 300°C, ya que a 300°C se obtiene un 42,65% de la resistencia promedio obtenida a temperatura ambiente de las probetas asociadas a este caso de estudio. Seguidamente, para las probetas sometidas a 500°C, se obtiene una resistencia que representa apenas el 16,08% de la obtenida para temperatura ambiente, es decir, la disminución de resistencia es de 83,92%, y para las probetas sometidas a 800°C esta disminución es de 93,30%, representando solo un 6,70% de la resistencia obtenida a temperatura ambiente. Estas disminuciones de resistencia son más marcadas que las de las probetas cuya unión se realizó a las 24 horas, lo cual es coherente.



Gráfica V. 3. Resistencias a la compresión de las probetas unidas con adhesivo epóxico, a los 7 días

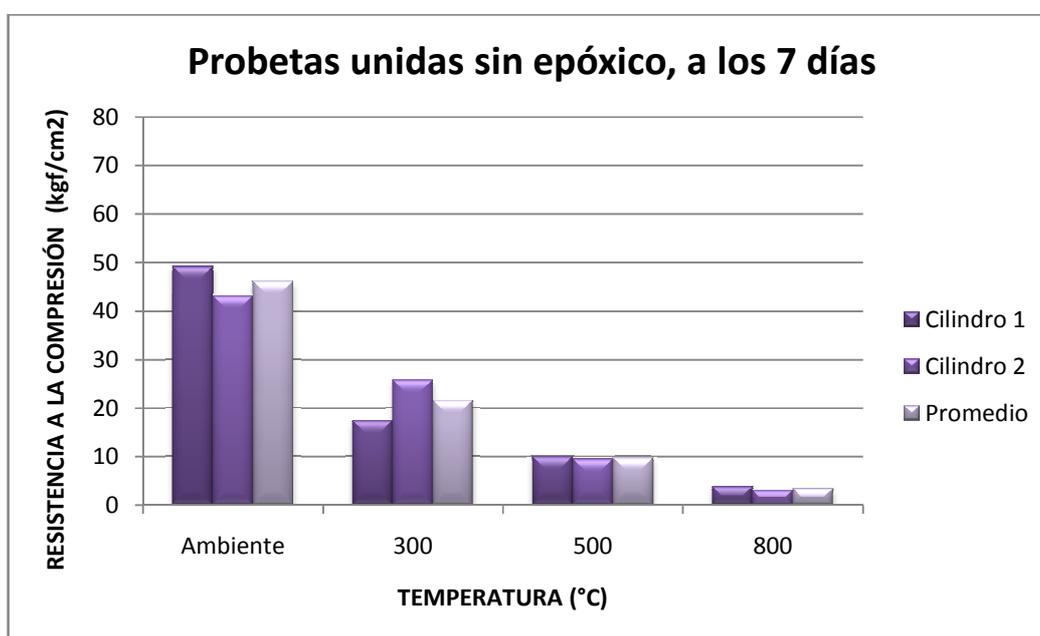
Fuente: Elaboración propia

#### V.4. Probetas unidas sin epóxico, a los 7 días

Este apartado corresponde a aquellas muestras, cuya unión entre concreto endurecido y concreto fresco, se realizó 7 días posteriores al primer vaciado, pero sin la utilización del adherente epóxico. La gráfica asociada a este caso de estudio y análisis, es la Gráfica V.4.

En este caso, las disminuciones de resistencia a medida que aumenta la temperatura resultan un poco más marcadas que en el caso anterior, donde, a diferencia de este, si se utilizó el epóxico.

Para la temperatura de 300°C se obtuvo un 46,82% de la resistencia obtenida a temperatura ambiente, lo cual implica una disminución significativa de 53,18%, esa tendencia marcada continúa, ya que para 500°C se obtuvo un 21,13%, es decir, una disminución del 78,87%. Para 800°C se obtuvo un pequeño 7,42% de la resistencia a temperatura ambiente, lo cual significa que la resistencia disminuye en un 92,58%.



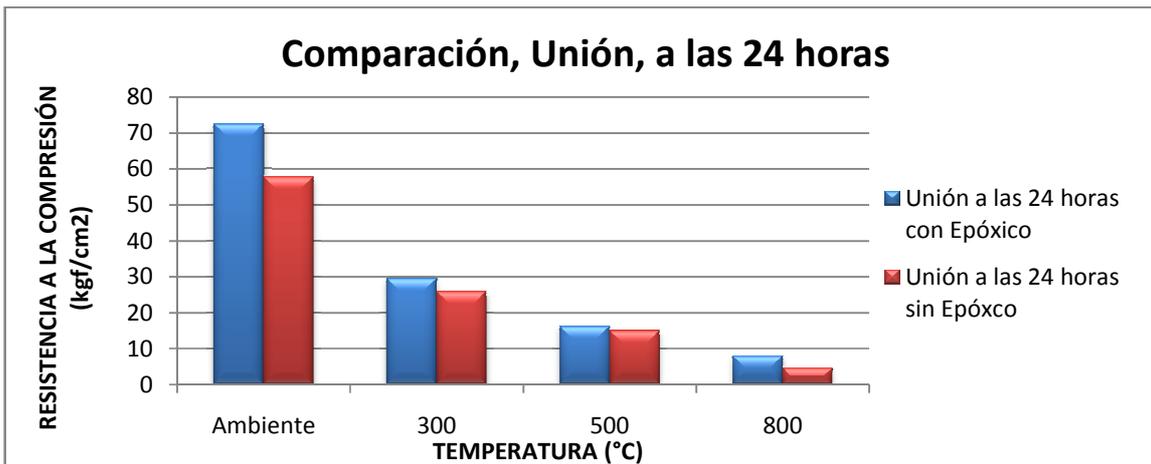
Gráfica V. 4. Resistencias a la compresión de las probetas unidas sin adhesivo epóxico, a los 7 días

Fuente: Elaboración propia

### V.5. Comparación, Unión a las 24 horas

La Gráfica V.5 permite evidenciar que el comportamiento de las uniones de concreto endurecido a concreto fresco, realizadas a las 24 horas del primer vaciado, resulta más efectivo cuando se utiliza el adhesivo epóxico, ya que la capacidad resistente de la junta es superior, debido a que la adherencia que se logra entre ambos concretos es mayor.

Para la temperatura ambiente la resistencia disminuye un 20,42% si no se utiliza el epóxico, en comparación a cuándo sí es utilizado, de la misma manera, para 300°C disminuye en un 12,33%, para 500°C la disminución es de 7,50%, y para 800°C disminuye un 42,23%. Se observa, que en el comportamiento a 300°C y 500°C, no se presentó una disminución significativa de resistencia al no utilizar el adhesivo epóxico (respecto a las probetas homólogas en las que si fue utilizado el epóxico), sin embargo, para 800°C la diferencia porcentual es mayor (42,23%), pero, tomando en cuenta que para esta temperatura las resistencias alcanzadas utilizando o no el epóxico son inferiores a  $8 \text{ kg/cm}^2$ , la referida diferencia porcentual para las probetas sometidas a 800°C resulta poco relevante.

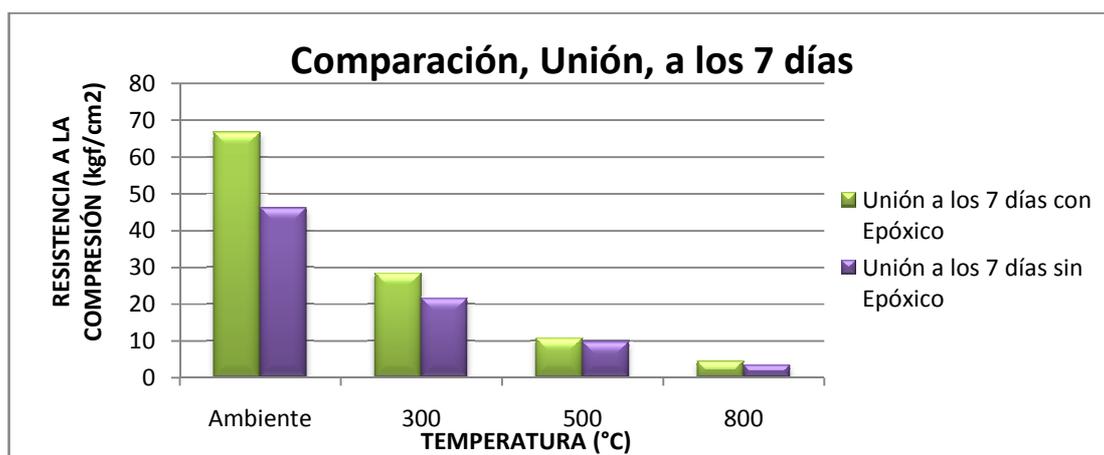


Gráfica V. 5. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas, a las 24 horas

Fuente: Elaboración propia

## V.6. Comparación, Unión a los 7 días

Cuando la unión es realizada a los 7 días, las resistencias obtenidas, para una misma temperatura, en las probetas donde fue utilizado el epóxico, son superiores a las obtenidas sin la utilización del epóxico, como se puede visualizar en la Gráfica V.6. También se refleja, que a medida en que va aumentando la temperatura, la diferencia en el comportamiento para una misma temperatura, de probetas donde se utilizó el epóxico, respecto a probetas homólogas en las cuales no se utilizó el adhesivo, se va haciendo menos marcada, esto se debe a que el adhesivo epóxico va perdiendo sus propiedades mecánicas a medida en que va aumentando la temperatura. Para la temperatura ambiente, la resistencia promedio de las probetas donde no se utilizó el adherente, es 30,81% menor a la resistencia promedio de las probetas en donde se utilizó el epóxico. Esta disminución, referida a una misma temperatura, para 300°C resulta de 24,06%, y para 500°C la disminución es de 9,07%. Para 800°C el porcentaje de disminución es de 23,44%, sin embargo, para este análisis resulta conveniente descartarlas, dado que los valores de resistencia en las mismas son inferiores a  $5 \text{ kg/cm}^2$  y como consecuencia las diferencias porcentuales entre ellas son poco relevantes.

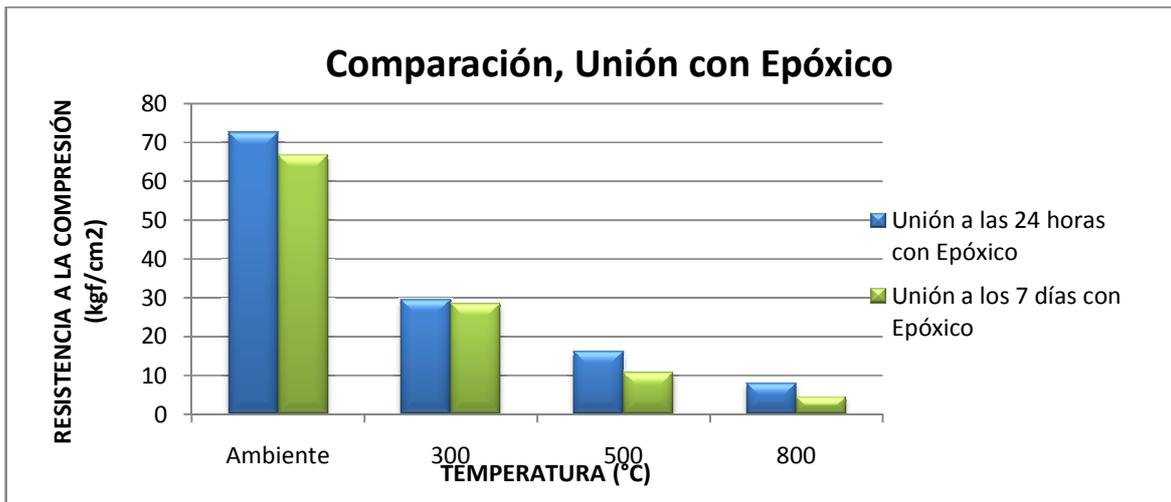


Gráfica V. 6. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas, a los 7 días

Fuente: Elaboración propia

### V.7. Comparación, Unión con Epóxico

La Gráfica V.7 muestra el comportamiento de las uniones realizadas utilizando el adhesivo epóxico, estas representan 2 variantes, una, el caso en el cual la unión se realizó a las 24 horas del primer vaciado, y la otra, cuando la unión fue realizada a los 7 días. Se puede apreciar para los distintos valores de temperatura, que las uniones realizadas a las 24 horas del primer vaciado son más resistentes que las uniones que se realizaron a los 7 días. A temperatura ambiente, las uniones realizadas a las 24 horas son 8,69% más resistentes que las realizadas a los 7 días; a 300°C las uniones a las 24 horas resultan 3,69% más resistentes; a 500°C las de 24 horas son 50,94% más resistentes, y para 800°C esta variación es de 77,96%. Se observa que la tendencia general es que cuando se hacen comparaciones para una misma temperatura, en la medida en que la temperatura es mayor, resultan más eficientes las uniones realizadas a las 24 horas que las realizadas a los 7 días del primer vaciado, es decir, cuando es utilizado el epóxico, el efecto adverso de la temperatura es más agresivo para uniones realizadas a los 7 días.



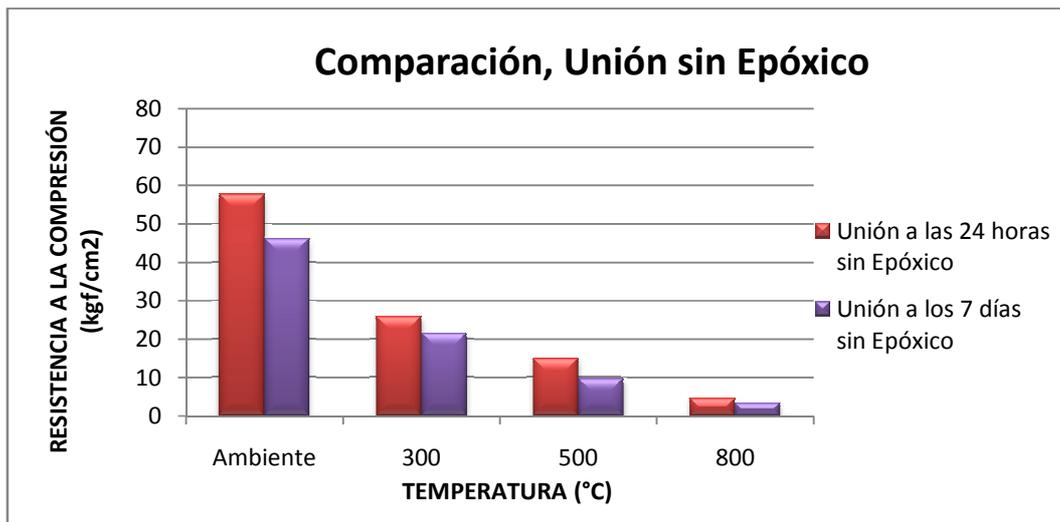
Gráfica V. 7. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas con adhesivo epóxico

Fuente: Elaboración propia

### V.8. Comparación, Unión sin Epóxico

Este apartado es similar al anterior, con la diferencia de que esta comparación se establece para probetas cuyas juntas fueron realizadas sin la utilización del adhesivo epóxico. Para la temperatura ambiente las uniones realizadas a las 24 horas del primer vaciado resultaron 25,01% más resistentes que las uniones realizadas a los 7 días; para 300°C se obtuvo una resistencia 19,71% mayor para las uniones realizadas a las 24 horas respecto a las de 7 días. Seguidamente, para 500°C esta variación es de 53,54%, y para 800°C la variación es de 34,28%.

Se puede apreciar claramente en la Gráfica V.8 el comportamiento descrito en líneas anteriores, se evidencia claramente que las uniones a las 24 horas son más efectivas y resistentes que las uniones a los 7 días, y vale acotar que estas variaciones para una misma temperatura entre las uniones realizadas a las 24 horas y las realizadas a los 7 días, son sensiblemente más marcadas para este caso (donde no se utilizó el epóxico), que para el caso anterior en el que si se utilizó el adhesivo epóxico.

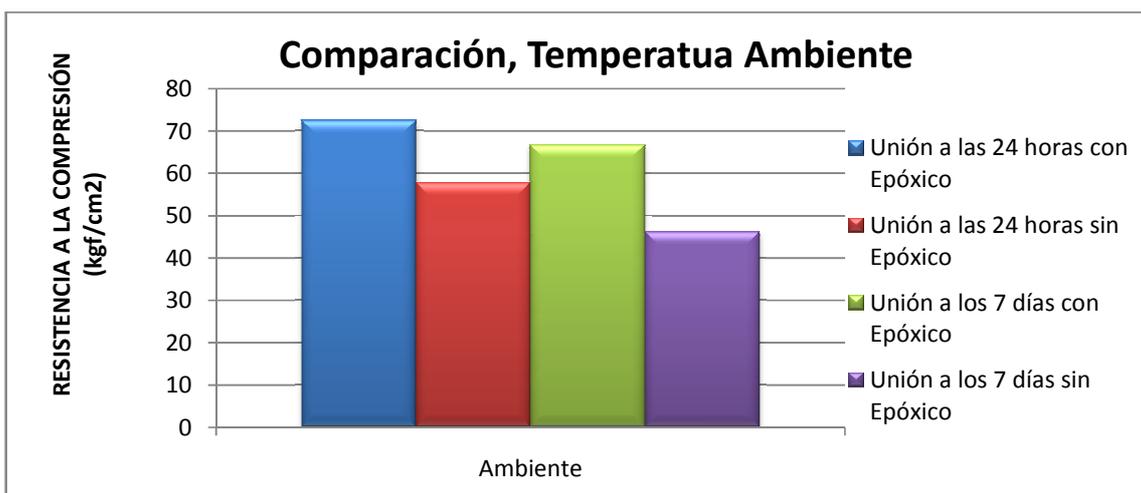


Gráfica V. 8. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura de las uniones realizadas sin adhesivo epóxico

Fuente: Elaboración propia

### V.9. Comparación, Temperatura Ambiente

Este análisis se hace con el apoyo de la Gráfica V. 9. A temperatura ambiente la unión que resulta más efectiva es la realizada a las 24 horas del primer vaciado utilizando el adhesivo epóxico. Considerando a dicha unión como el 100%, la que le sucede en capacidad resistente, es la unión realizada a los 7 días utilizando el epóxico, en la cual se obtiene una resistencia 7,99% menor a la anterior. Seguidamente, las probetas cuya junta se realizó sin la utilización del epóxico, presentaron disminuciones aún mayores: las realizadas a las 24 horas resultaron 20,42% menos resistentes, y las unidas 7 días posteriores, resultaron 36,34% menos resistentes. Es de interés destacar que para las juntas realizadas a los 7 días utilizando el adhesivo epóxico, se obtienen mejores resultados que para las realizadas a las 24 horas sin la utilización del epóxico, por lo tanto, se puede considerar muy oportuna la utilización del adhesivo epóxico cuando la unión se realiza 7 días después de vaciado el primer concreto, como medida de mitigación, debido a que el hecho de realizar la junta a los 7 días, es ya por sí misma, una condición desfavorable.

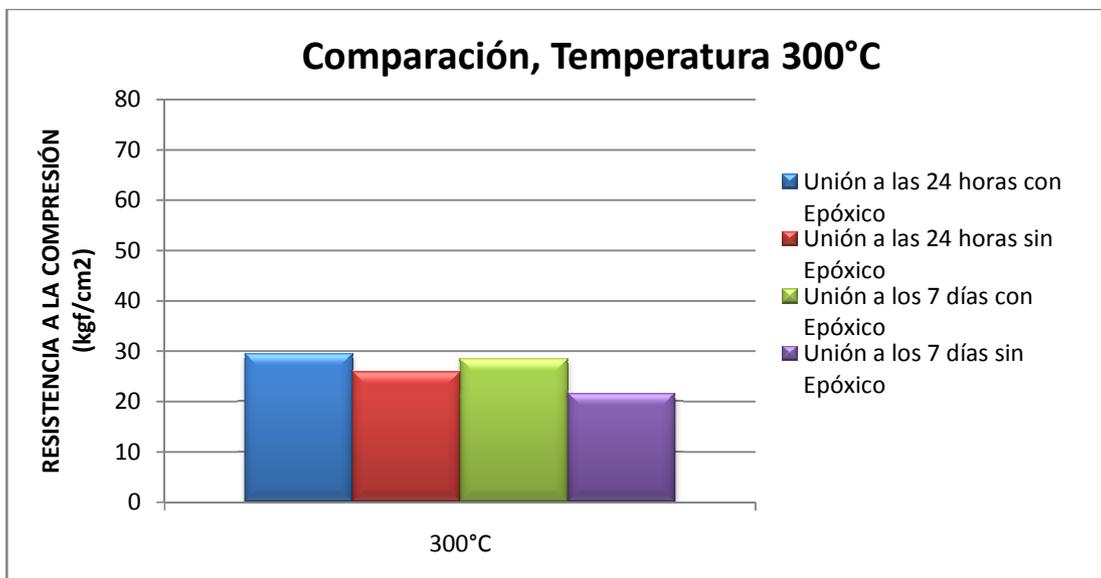


Gráfica V. 9. Comparación de las resistencias a la compresión a temperatura ambiente en función del tipo de unión  
Fuente: Elaboración propia

### V.10. Comparación, Temperatura 300°C

Para la temperatura de 300°C las juntas cuya resistencia promedio es mayor son las realizadas a las 24 horas utilizando el adhesivo epóxico, considerando a esta como la condición más favorable, se puede expresar porcentualmente las disminuciones de las condiciones restantes, respecto a esta, como sigue:

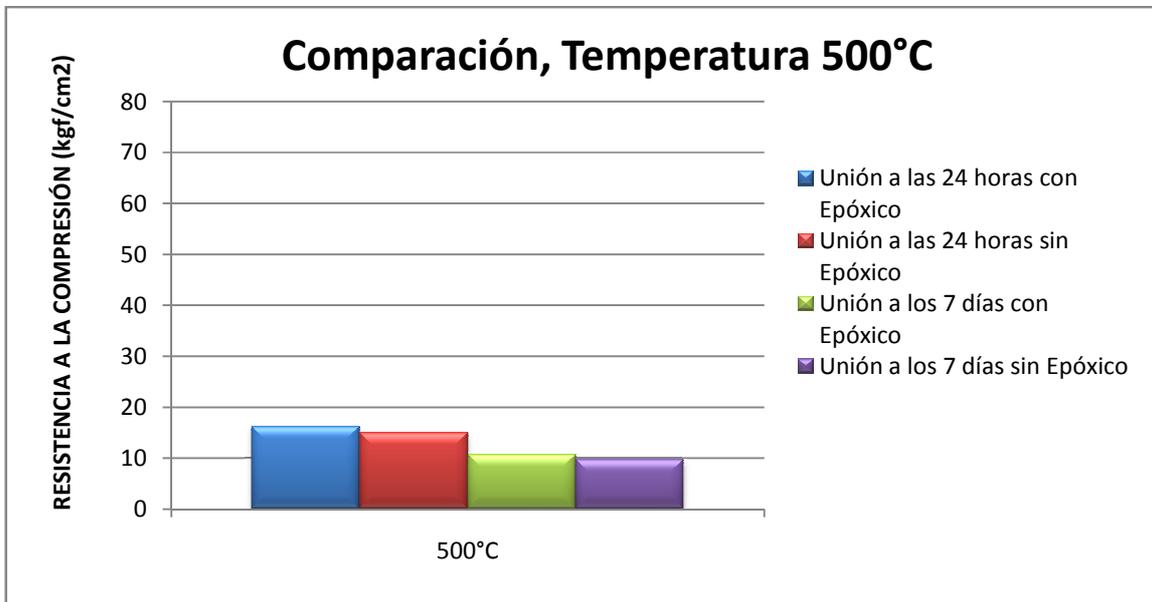
Las uniones realizadas a las 24 horas sin la utilización del epóxico son 12,33% menos resistentes; las uniones realizadas a los 7 días utilizando el adhesivo epóxico disminuyen su resistencia en 3,56%, y las también realizadas a los 7 días pero sin la utilización del adhesivo, presentan una disminución porcentual más considerable de 26,76%. Se puede observar en la Gráfica V.10 que para este valor de temperatura, a pesar de que el adhesivo epóxico ha perdido una buena parte de sus propiedades, las juntas realizadas sin la utilización del epóxico son afectadas en mayor proporción que las realizadas utilizando el adhesivo.



Gráfica V. 10. Comparación de las resistencias a la compresión a 300°C de temperatura en función del tipo de unión  
Fuente: Elaboración propia

### V.11. Comparación, Temperatura 500°C

La Gráfica V.11 permite apreciar que el efecto de la temperatura de 500°C es mucho más severo para aquellas juntas cuya ejecución se realizó sin la aplicación del adhesivo epóxico. Si consideramos el caso más favorable (unión a las 24 horas utilizando el adhesivo epóxico) como 100%, se obtiene que la unión a las 24 horas sin la utilización del epóxico alcanzó un 92,50%, seguidamente, cuando se analizan las juntas realizadas a los 7 días del primer vaciado, los porcentajes alcanzados son inferiores en comparación con los obtenidos para 24 horas, ya que para las juntas realizadas a los 7 días utilizando el epóxico se obtuvo un 66,25% de la resistencia del caso más favorable, y para las realizadas a los 7 días sin la utilización del adherente, se obtuvo un 60,24%. En consecuencia, para la temperatura de 500°C las juntas realizadas a las 24 horas (con y sin epóxico), son más competentes, que aquellas realizadas a los 7 días del primer vaciado.



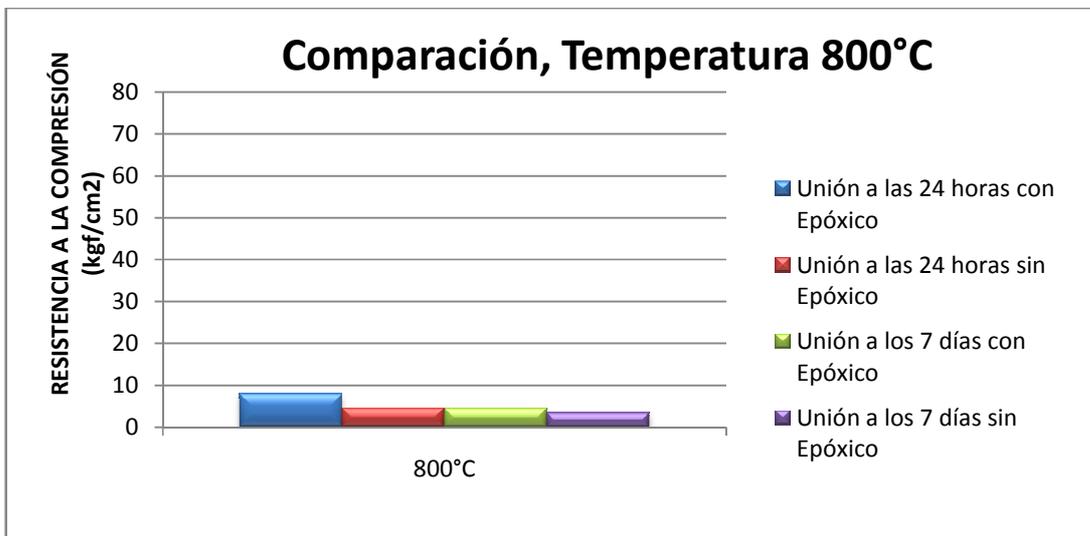
Gráfica V. 11. Comparación de las resistencias a la compresión a 500°C de temperatura en función del tipo de unión

Fuente: Elaboración propia

### V.12. Comparación, Temperatura 800°C

Este caso de estudio es el correspondiente a las probetas que fueron sometidas a 800 °C, cabe resaltar que los resultados obtenidos para esta temperatura son inferiores a 8  $kg/cm^2$ , debido a que a esta temperatura las propiedades mecánicas y adhesivas del epóxico se han perdido en gran medida, y por ende las resistencias obtenidas resultaron sumamente bajas.

Sin embargo, resulta interesante hacer una comparación porcentual de las probetas sometidas a dicha temperatura. Se observa en la Gráfica V.12 que para la temperatura de 800°C, las uniones realizadas a las 24 horas utilizando el adhesivo epóxico, son las que ofrecieron un comportamiento más favorable. Si dicha condición es considerada como el 100%, se puede expresar las siguientes en función de ella como sigue: para la unión a las 24 horas sin el adhesivo, se obtiene un 57,77%, para las uniones a los 7 días utilizando el epóxico, se obtiene un 56,19%, y para la unión a los 7 días sin epóxico un 43,02%.

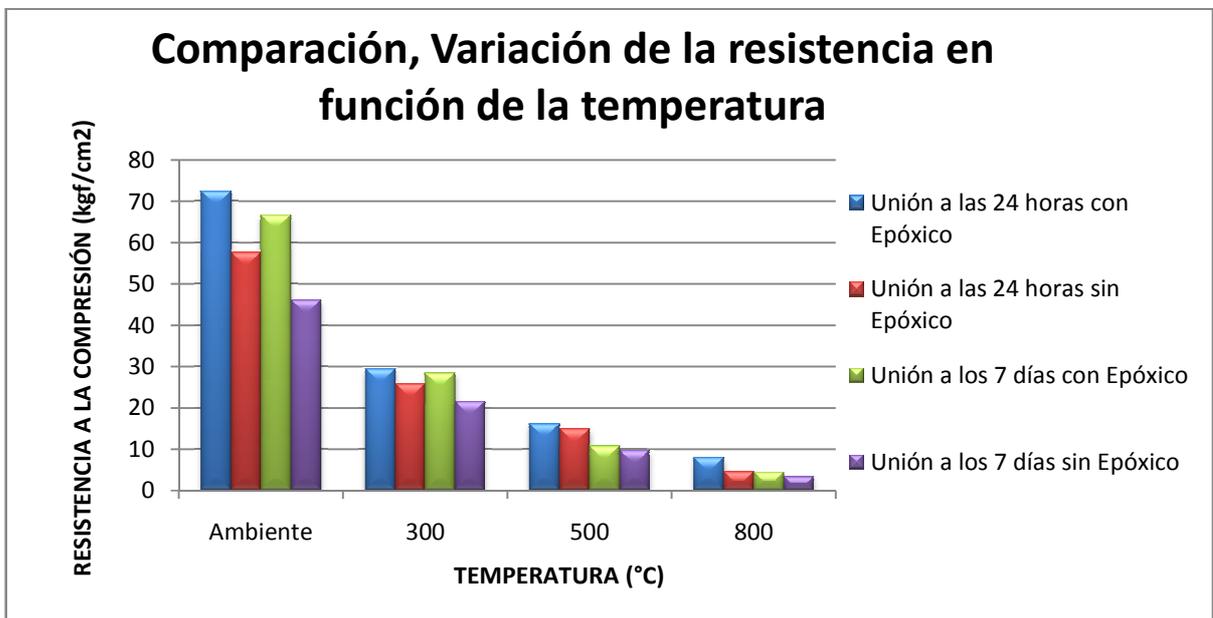


Gráfica V. 12. Comparación de las resistencias a la compresión a 800°C de temperatura en función del tipo de unión

Fuente: Elaboración propia

### V.13. Comparación, Variación de la resistencia en función de la temperatura

A través de las comparaciones y análisis realizados anteriormente, se ha podido reflejar cómo, para una misma temperatura, la resistencia de las probetas varía según la edad del concreto endurecido al momento de realizar la junta, así como también varía según se utilice o no el adhesivo epóxico. Ahora bien, la Gráfica V.13, permite reflejar, independientemente de dichas consideraciones, que la resistencia de las juntas disminuye notablemente a medida en que aumenta la temperatura, observándose un escalón bastante pronunciado entre la temperatura ambiente y 300°C, y continuando dicha disminución de una manera notable para 500°C y 800°C.



Gráfica V. 13. Comparación de las resistencias a la compresión en función de la temperatura y del tipo de unión

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **VI.1 Conclusiones**

Los análisis realizados en el capítulo anterior, basados en los resultados obtenidos para las probetas estudiadas, correspondientes a los distintos casos de análisis que abarcaban dos edades de uniones, diferentes valores de temperatura a las cuales fueron sometidas las probetas, y la utilización o no del adhesivo epóxico, permiten establecer conclusiones y consideraciones de importancia que se irán presentando y describiendo en párrafos posteriores.

En primer lugar, resulta indiscutible, que la realización de las juntas de construcción a tempranas edades del concreto vaciado inicialmente, permite obtener uniones más competentes y resistentes, que cuando se realiza la junta varios días posteriores al vaciado del “primer concreto”, esto se debe a que los procesos que ocurren en el concreto mientras está fraguando, como por ejemplo, las reacciones de hidratación del cemento y el consecuente desarrollo de resistencias, van ocurriendo de manera progresiva, lo cual indica que mientras esos procesos estén menos avanzados, la adherencia que va a tener dicho concreto endurecido con el concreto fresco va a ser mayor porque va a poder trabajar de una manera más solidaria, debido a que todavía hay reacciones internas y procesos que están en desarrollo y que tendrán una mayor y mejor compatibilidad con el concreto fresco.

Igualmente, juega un papel importante los efectos de la retracción en el concreto, dado que, si la edad del concreto endurecido es poco avanzada al momento de vaciar el concreto fresco, la retracción producida en cada concreto, es decir, la disminución de volumen que sufre el concreto, debida principalmente a la pérdida

de agua, será similar, lo cual permite que los esfuerzos internos (que se generen en la superficie de contacto entre ambos concretos) sean menores y en consecuencia la adherencia se vea menos perjudicada.

Por otra parte, se concluye que la utilización del adhesivo epóxico es en líneas generales, para los casos estudiados, un elemento ventajoso, independientemente de la edad del concreto endurecido, y de la temperatura a la cual pudiera estar sometida la junta de construcción, ya que se obtuvieron valores de resistencia superiores para cada apartado estudiado, es decir, evaluando cada condición para una determinada temperatura y una determinada edad del concreto vaciado inicialmente, se obtuvo que las juntas en las cuales se utilizó el epóxico resultaron más resistentes que sus homólogas en las cuales no se utilizó el adhesivo epóxico.

De la misma manera, es importante resaltar que, porcentualmente, considerando como 100% la resistencia promedio obtenida a temperatura ambiente para cada caso, el efecto de las altas temperaturas resultó ligeramente más severo para las uniones que se realizaron utilizando el adhesivo epóxico, tanto para las realizadas a las 24 horas de haberse vaciado el primer concreto, como para las realizadas a los 7 días.

Para las uniones realizadas a las 24 horas, tomando como 100% la resistencia promedio obtenida a temperatura ambiente, se tiene que: en el caso en que no fue utilizado el adhesivo epóxico, se alcanzó 44,83% para 300°C, 25,95% para 500°C y 7,97% para 800°C, y para el caso en que si se utilizó el epóxico, se alcanzó 40,69% para 300°C, 22,33% para 500°C y 10,97% para 800°C. Nótese que la única excepción, en la cual el porcentaje es mayor cuando se utilizó el epóxico, es para 800°C.

Igualmente, para las uniones realizadas a los 7 días de haberse vaciado el primer concreto, considerando también como 100% la resistencia obtenida a temperatura ambiente, se tiene que: en el caso en que no se utilizó el epóxico para la unión, se alcanzó un 46,82%, 21,13% y 7,42% para 300°, 500° y 800° respectivamente, y para el caso en que si se utilizó el epóxico se obtuvo 42,65% para 300°C, 16,08% para 500°C y 6,70% para 800°C. Sin embargo, a pesar de este comportamiento a nivel porcentual, descrito en el presente párrafo y en los dos anteriores, los valores de resistencia obtenidos son mayores cuando es utilizado el epóxico.

Queda evidenciado, que el efecto de las altas temperaturas en las uniones de concreto endurecido con concreto fresco utilizando adhesivo epóxico, es bastante significativo y agresivo, demostrándose que las resinas epóxicas son muy vulnerables a la temperatura, dado que para las altas temperaturas estudiadas, la capacidad resistente de las juntas disminuyó notablemente respecto al comportamiento a temperatura ambiente, no obstante, el umbral o rango de temperatura donde comienza la pérdida de la capacidad resistente del adhesivo epóxico, se escapa del alcance del presente trabajo de grado.

Otro aspecto de importancia, es que al evaluar la superficie de unión entre ambos concretos, cuando es utilizado el adherente epóxico, se encontró que las probetas estudiadas fallaron en la superficie de contacto entre el epóxico y el concreto nuevo, es decir, la adherencia que se produce entre ellos, es menos competente y resistente, que la producida entre el adhesivo epóxico y el concreto viejo. Las causas de esta particularidad en el comportamiento de la unión, se escapan del alcance del presente trabajo especial de grado, sin embargo, resulta conveniente dejar plasmado dicho aspecto en estas líneas, para que esta información pueda ser útil a futuras investigaciones.

Es importante acotar, que en el comportamiento de elementos estructurales que sean sometidos a altas temperaturas, en los cuales exista una junta de construcción, no solo intervienen variables como la utilización o no del adherente epóxico, la edad del concreto vaciado inicialmente, o el valor de temperatura estudiado, sino que también influyen otro conjunto de variables como el tipo de sollicitación a la cual pueda estar sometido el elemento estructural (que está asociada al tipo de elemento estructural y la ubicación de la junta en el mismo), el papel que desempeña el acero de refuerzo para elementos de concreto armado, y otros factores que ciertamente se escapan del alcance del presente trabajo especial de grado.

## **VI.2. Recomendaciones**

Se recomienda tener un minucioso cuidado en la preparación de la superficie de contacto del concreto endurecido, teniendo en cuenta que no se deben dejar materiales sueltos, y se deben eliminar todo tipo de sucio y la lechada de cemento en la zona de la unión. La ejecución de esta preparación va a depender del tiempo transcurrido entre un vaciado y otro, ya que si el tiempo transcurrido es mayor, debe limpiarse la superficie con un cepillo de alambre o con un chorro de agua con suficiente presión para eliminar la lechada y dejar expuestos los agregados. También se debe humedecer la superficie antes de colocar el concreto fresco.

Otro aspecto importante es el control que se debe tener con lo relacionado a la preparación del adherente, ya que son compuestos químicos que una vez mezclado el componente A con el componente B tienen un tiempo limitado para proceder a su aplicación, que va a depender de las condiciones ambientales del lugar donde se esté trabajando, y se debe tener la previsión de preparar la cantidad adecuada que se pueda aplicar en cierto lapso de tiempo, sin excederse, para garantizar que el producto actúe de manera adecuada. Lo recomendable es que el mezclado de los componentes A y B, se realice con un taladro de baja revolución, para garantizar la homogeneidad del producto, sin embargo el mezclado puede realizarse con una espátula o algún otro implemento que lo permita. Así mismo, se deben tomar las previsiones correspondientes, para que el tiempo transcurrido entre la aplicación del epóxico en la superficie y el vaciado del concreto fresco, sea lo más corto posible, ya que el adhesivo epóxico, a pesar de ser de consistencia espesa, es bastante escurridizo, y esto puede facilitar que el espesor de la capa de epóxico aplicada, disminuya y no sea uniforme, producto del escurrimiento.

De igual forma, el personal que vaya a aplicar el epóxico debe tener especial cuidado en el manejo del mismo, ya que son productos que pueden resultar muy tóxicos para el humano, y en consecuencia se deben tomar medidas de seguridad industrial como la utilización de guantes, tapabocas, y otros implementos que eviten el contacto con la piel y las mucosas.

Para futuros Trabajos Especiales de Grado, se sugiere que se estudie el comportamiento de las uniones a altas temperaturas para otros tipos de sollicitaciones, para de esta manera obtener un registro más amplio del comportamiento de los epóxicos, que permita conocer más alcances y limitaciones de los mismos. De igual manera, se sugiere que se realicen estudios con diferentes tiempos de exposición de las probetas a las altas temperaturas, para de esta manera evaluar la influencia que tiene el tiempo de exposición en el comportamiento de las juntas

Se sugiere realizar los ensayos de los cilindros a edades más avanzadas, como por ejemplo 90 días, para así evaluar la junta cuando los procesos de desarrollo de resistencias y reacciones que se siguen produciendo en el concreto por largo tiempo, estén menos activas, dado que el hecho de someter las probetas a altas temperaturas, implica que la humedad que posean las mismas, va a disminuir y a producir esfuerzos internos producto de la retracción del concreto.

Igualmente, pudiera resultar muy interesante, la evaluación del comportamiento de la adherencia en barras de acero sometidas a tracción, debido a que los adherentes epóxicos también son usados en anclajes, etc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Archila Ortiz, G.A. (Mayo, 2007). *Evaluación sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de epóxicos*. Recuperado el 15 de julio de 2011 de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_7815.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7815.pdf)

ASTM C881/ C 881 M. (2002). *Standar Test Method for Bond Strehgth of Epoxy-Resin Syistems Used With Concrete By Slant Shear*. ASTM.

ASTM C882/882 M. (2005). *Standar Test Method for Bond Strehgth of Epoxy-Resin Syistems Used With Concrete By Slant Shear*. ASTM.

FALLER, G. (2004). *La identificación de riesgos y el diseño contra incendios*. ICCP Arup Fire. Trabajo presentado en el Seminario “Análisis de riesgos y fiabilidad estructural. Ingeniería de fuego”. IETcc - Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España.

Horbostel, C. (1999). *Materiales Modernos Para Construcción, Usos Y Aplicaciones*. Mexico,DF: LIMUSA.

Mahler, H. G. (2011). *Resinas Epoxi*. Recuperado el 20 de Julio de 2011, de <http://resinasepoxi.com.ar/adhesivos/historia-de-los-adhesivos/>

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° 0268. (1988). *Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0338. (1988). *Concreto, Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0339. (1988). *Concreto, Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams*.

Norma Venezolana COVENIN N° 0354. (2001). *Concreto, Método para el mezclado en el laboratorio.*

Parra, A. (2010). *Evaluación del Comportamiento Mecánico de la Unión de Concreto Fresco a Concreto endurecido, Utilizando Adherentes Epóxicos y la Inclusión de un Plano Irregular en la Superficie de Contacto.* Trabajo de Grado no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2008). *Manual del Concreto Estructural.* Caracas: SIDETUR.

Ugas F., C. T. (1977). *Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos.* Caracas: Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

## GLOSARIO

**Aditivo:** Material diferente del cemento, agregado o agua que se incorpora en pequeñas cantidades al concreto, antes o durante su mezcla, para modificar algunas de sus propiedades sin perjudicar su durabilidad.

**Aditivo Acelerador:** Aditivo que produce incrementos en la velocidad de hidratación del cemento, disminuyendo el tiempo de fraguado, acelerando el desarrollo de resistencias o ambas.

**Aditivo Incorporador de Aire:** Aditivo que desarrolla un sistema de microscópicas burbujas de aire en el concreto, mortero o pasta durante el mezclado. Usualmente, mejora la trabajabilidad, la exudación y la resistencia a ciclos de congelación y deshielo.

**Aditivo Reductor de Agua:** Aditivo que incrementa el asentamiento en el concreto fresco sin aumentar la cantidad de agua, o mantiene el asentamiento permitiendo reducciones de la cantidad de agua.

**Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango:** Aditivo capaz de permitir grandes reducciones de agua o grandes aumentos en la fluidez del concreto sin producir retardos de fraguado o incorporación de aire indeseable.

**Aditivo Retardador:** Aditivo que produce disminución en la velocidad de hidratación del cemento y prolonga el tiempo de fraguado.

**Agregado:** Material granular, generalmente inerte, natural o no, el cual se mezcla con cemento hidráulico y agua para producir morteros y concretos.

**Asentamiento:** Medida de la consistencia del concreto fresco, evaluada mediante el ensayo con el Cono de Abrams.

**Buggies:** Equipo de dos ruedas empleado para el transporte de concreto fresco o de sus componentes; puede ser propulsado por un motor.

**Calor de Hidratación:** Calor desarrollado por reacciones químicas con el agua, tales como las producidas durante el proceso de fraguado y endurecimiento del cemento Portland.

**Capping:** Refrentado.

**Carbonatación:** Deterioro superficial del concreto por efecto del anhídrido carbónico atmosférico. Se manifiesta en concretos expuestos por tiempo a la intemperie y puede sufrir microagrietamiento por retracción.

**Cemento:** Material inorgánico finamente molido que al mezclarse con agua, forma una pasta que endurece por reacciones y procesos de hidratación. Después del endurecimiento mantiene su resistencia y estabilidad, incluso bajo el agua.

**Cemento Hidráulico:** Un cemento que fragua y endurece por reacción química con el agua y es capaz de desarrollar bajo agua. El cemento Portland y la escoria molida de alto horno son cementos hidráulicos.

**Cemento Normal:** Cemento Portland de uso general conocido como tipo I.

**Cemento Portland:** Cemento hidráulico producido, generalmente, al pulverizar clinker de cemento Portland, con sulfato de calcio.

**Cilindros Curados en la Obra:** Muestras de cilindros que se dejan en la obra para ser curados en condiciones similares a las del concreto colocado en la estructura. Sus resultados pueden utilizarse para determinar el momento de desencofrado y para evaluar la efectividad del curado en sitio.

**Compactación:** Es la operación manual o mecánica, por medio de la cual se trata de densificar la masa de concreto fresco, reduciendo a un mínimo los vacíos.

**Concreto:** Mezcla de cemento Portland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, que mediante la hidratación del cemento adquiere consistencia pétreo.

**Refrentado (o remate):** Delgada capa de mortero u otro material, dispuesta en las probetas cilíndricas, para su ensayo a la compresión.

**Reología:** Conjunto de características de la mezcla de concreto, antes de su fraguado, que posibilitan su manejo y posterior compactación. También se designa así al estudio de las deformaciones lentas del concreto endurecido.

**Resistencia:** Es el término genérico para designar la habilidad de un material para resistir deformaciones o rotura inducidas por fuerzas externas. (Resistencia en compresión, tensión, corte, fatiga).

**Resistencia Especificada del Concreto a la Compresión:** Resistencia a la compresión del concreto  $F_c$  usada en el diseño estructural. También llamada resistencia de diseño.

**Resistencia Promedio Requerida:** Es la resistencia media  $F_{cr}$  empleada como base para seleccionar la dosificación del concreto. Es igual al valor  $F_c$  incrementado por  $zS$ , donde  $S$  es el valor de la desviación estándar y  $z$  depende del cuantil aceptado.

**Retardador:** Aditivo que se incorpora a la mezcla con el fin de retardar su fraguado.

**Retracción:** Disminución de volumen que sufre el concreto con el tiempo, debido principalmente a la pérdida de agua.

**Retracción Compensada:** Efecto inhibitorio de la retracción, el cual se logra con ciertos aditivos.

**Retracción de Fraguado o Retracción Plástica:** Retracción debida a pérdida de parte del agua de la mezcla, en las etapas iniciales de fraguado.

**Retracción Hidráulica:** Retracción del concreto endurecido, fenómeno que ocurre semanas o meses después del fraguado.

**Saco de cemento:** Cantidad de cemento Portland equivalente a 42,5 kgf.

**Saturado con Superficie Seca:** Condición de las partículas de agregado cuando los poros permeables se encuentran llenos de agua y no existe excedente de agua en la superficie.

**Sedimentación:** Hundimiento de las partículas sólidas presentes en el concreto fresco, después de culminada su colocación y antes del fraguado inicial.

**Segregación:** Separación de los distintos componentes de una mezcla de concreto o de mortero fresco durante el transporte o colocación.

**Superplastificante:** Aditivos reductores de agua con acción plastificante; facilita incrementos del asentamiento sin segregación, ni incorporación de aire atrapado.

**Tamaño Máximo del Agregado:** Menor abertura del tamiz de malla cuadrada que deja pasar al menos el 95% en peso de una muestra de agregado, ensayada de acuerdo con la Norma COVENIN 255.

**Terceo:** Cantidad de Concreto contenida en una sola operación de la mezcladora.

**Tiempo de Fraguado:** Lapso de tiempo desde el mezclado hasta el momento de aparición del atiesamiento o pérdida de plasticidad de la pasta.

**Tixotropía:** Propiedad reversible de ciertos materiales de atiesarse, en un corto período de tiempo al estar en reposo; por agitación mecánica recupera su condición de baja viscosidad inicial (véase: Falso Fraguado). Puede modificarse con el empleo de aditivos reductores de agua (véase: Superplastificante)

**Trabajabilidad:** Conjunto de propiedades del concreto fresco que permitan manejarlo, colocarlo en los moldes y compactarlo, sin que se produzca segregación. En forma no siempre representativa de esas propiedades, se evalúa con el asentamiento del Cono de Abrams.

**Trompo:** Recipiente para el mezclado del concreto, cuyo volumen tiene forma troncocónica, que puede rotar alrededor de un eje perpendicular al de mezclado.

**Vaciado:** Operación de llenar los moldes o encofrados de concreto.

**Vacuolas:** Vacíos producidos por la evaporación del agua de amasado; quedan eliminadas de vibrar el concreto fresco.

**Ventanas:** Aberturas en un encofrado para reducir la altura de caída de un vaciado y el riesgo de segregación del concreto.

**Vibración:** Agitación enérgica del concreto fresco durante su colocación, empleando dispositivos mecánicos, neumáticos o eléctricos para crear impulsos vibratorios de moderada a alta frecuencia, para facilitar la consolidación del concreto en su encofrado.

## ANEXOS

### Anexo 1

Límites de la granulometría del agregado fino

Norma COVENIN 277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos)

Cedazos COVENIN <sup>(1)</sup>	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 2

### Límites de la granulometría del agregado grueso

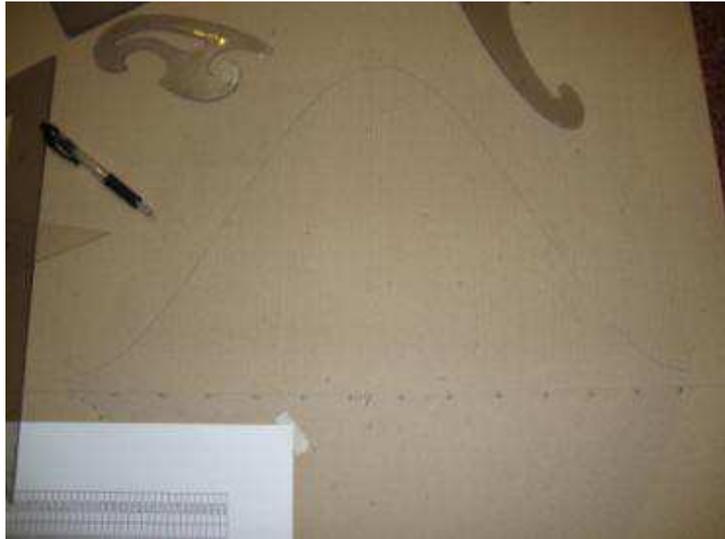
#### Norma COVENIN 277:2000 (Concreto. Agregados. Requisitos)

Tabla 3. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (2) cedazos de aberturas cuadradas.

Piedra picada ó grava COVENIN	75 mm (3")	84,0 mm (3 1/4")	90,0 mm (3 5/8")	100,0 mm (4")	150,0 mm (6")	190,0 mm (7 1/2")	250,0 mm (10")	300,0 mm (12")	375,0 mm (15")	475,0 mm (18 1/2")	600,0 mm (24")	750,0 mm (30")	900,0 mm (36")	1060 mm (42")
N° 0	-	-	-	-	-	100	100	85	60	40	20	10	5	-
							0	0	0	0	0	0	0	0
N° 1	-	-	-	100	100	90	45	20	7	-	-	-	-	-
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N° 2			100	90	70	30	10	5	-	-	-	-	-	-
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N° 3	100	100	95	60	10	5	-	-	-	-	-	-	-	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Anexo 3

#### Plantilla para elaboración del corte del cilindro a treinta grados



### Anexo 3

#### Construcción de apoyos para encofrado de probetas con el plano a treinta grados



## Anexo 4

### Elaboración de la mezcla

