



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN SOBRE ADHERENCIA ENTRE CONCRETO
ANTIGUO Y CONCRETO NUEVO CON DOS TIPOS DE
EPÓXICOS.**

Gustavo Adolfo Archila Ortiz
Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, mayo de 2007

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN SOBRE ADHERENCIA ENTRE CONCRETO ANTIGUO Y CONCRETO NUEVO, CON DOS TIPOS DE EPÓXICOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 21 de septiembre de 2005.

Gustavo Adolfo Archila Ortiz

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de Lopez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Márcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Luna Aroche
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Beber Aceituno
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN SOBRE ADHERENCIA ENTRE CONCRETO
ANTIGUO Y CONCRETO NUEVO, CON DOS TIPOS DE
EPÓXICOS.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GUSTAVO ADOLFO ARCHILA ORTIZ

ASESORADO POR: INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2007

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por derramar sus bendiciones en mí.
La Facultad de Ingeniería y a la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por proveerme de conocimientos y hacerme profesional.
La Ingeniera Dilma Y. Mejicanos J.	Por haberme brindado su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo de graduación.
La Sección de Concretos del centro de Investigaciones de ingeniería	Por su colaboración en la elaboración de este trabajo de graduación.
La Sección de Metales del Centro de investigaciones de Ingeniería	Por su apoyo y ayuda en la elaboración de este trabajo.
El Ing. Francisco Javier Quiñonez	Por su apoyo y ayuda en la elaboración de este trabajo.
El Personal del Centro de investigaciones de Ingeniería	Por su apoyo y ayuda en la elaboración de este trabajo, en especial a Aroldo y Álvaro

ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre	Gustavo Adolfo. Archila Melendez. Ejemplo y guía en mi vida, un recuerdo permanente en su ausencia. (†)
Mi madre	Guadalupe Albertina. Ortiz Archila. Por su amor, apoyo incondicional y comprensión a lo largo de mi vida.
Mis hermanos	Por su amor, comprensión y apoyo a lo largo de mi vida.
Mis abuelos	Rubén Ortiz García Cayetana Albertina Ortiz Archila Gustavo Archila Siliezar (†) Candelaria Melendez Alvarado (†) Por su amor su ayuda y apoyo.
Mis tíos y tías	Por su cariño, comprensión y apoyo
Mis primos	Por estar a mi lado a lo largo vida.
Las viejas amistades	Por su cariño, comprensión y apoyo.
Mis amigos	Por estar conmigo en todos los momentos importantes de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ADITIVOS.....	1
1.1 Tipos de aditivos.....	2
1.1.1 Aceleradores de fraguado.....	2
1.1.2 Retardadores de fraguado.....	2
1.1.3 Incorporadores de aire.....	3
1.1.4 Plastificantes.....	3
1.1.5 Súper plastificantes.....	3
1.2 Tipos de adhesivos.....	4
1.2.1 Antecedentes.....	4
1.2.2 Tipos de Adhesivos.....	5
1.2.2.1 Adhesivos Látex.....	5
1.2.2.1.1 Adhesivos estructurales.....	5
1.2.2.1.2 Puentes de adherencia.....	6
1.2.2.1.3 Anclajes y reparaciones.....	7
1.2.2.1.4 Adhesivos pre polimerizados.....	8
1.2.2.1.5 Comportamiento de los adhesivos ante el curado.....	9
1.2.2.1.6 El modelo de adhesión mecánica.....	12
1.2.2.1.7 La teoría de la difusión.....	12

1.2.2.1.8	Teoría eléctrica.....	13
1.2.2.1.9	Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial.....	14
1.2.2.1.10	Diseño y evaluación de las uniones adhesivas.....	15
1.2.2.1.11	Tratamientos superficiales.....	19
1.2.2.1.12	Adhesivos reactivos.....	20
1.2.2.1.13	Adhesivos reactivos rígidos.....	22
1.2.2.1.14	Epoxis.....	23
1.2.2.1.15	Adhesivos reactivos tenaces.....	24
1.2.2.1.16	Acrílicos.....	25
1.2.2.1.17	Adhesivos de curado ultra violeta.....	26
1.2.2.2	Adhesivos no estructurales.....	27
1.2.2.2.1	Adhesivos para tabiques.....	28
1.2.2.2.2	Adhesivos para molduras.....	28
1.2.2.2.3	Adhesivos para revestimientos.....	28
2.	ENSAYOS Y NORMAS.....	29
2.1	Tipos de ensayo.....	29
2.1.1	Norma ASTM C-39, (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto).....	29
2.2	Normas que regulan el ensayo.....	29
2.2.1	Norma ASTM C-881, (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas).....	30
2.2.2	Norma ASTM C-1059, (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo).....	30

2.2.3	Norma ASTM C-39, (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto).....	30
3.	FUNCIONALIDAD EN LA UNIÓN DE CONCRETO NUEVO Y CONCRETO VIEJO.....	33
3.1	Consecuencias.....	39
3.1.1	Filtraciones.....	39
3.1.2	Baja resistencia.....	39
3.2	Ventajas y desventajas.....	39
3.2.1	Ventajas.....	39
3.2.2	Desventajas.....	40
4.	PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	41
4.1	Resistencia a compresión.....	41
4.2	Adherencia entre concretos.....	42
5.	CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO A EVALUAR.....	45
5.1	Propiedades mecánicas del concreto.....	45
5.2	Dosificación de los componentes del concreto.....	47
5.3	Testigo de concreto.....	50
5.4	Metodología.....	52
6.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EVALUAR LA ADHERENCIA DE LOS ADHESIVOS.....	55
6.1	Resistencia a la compresión.....	55
6.2	Análisis de resultados.....	62
6.3	Comparación costo-beneficio de los adhesivos.....	68

CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema básico de la unión adhesiva.....	7
2.	Modelo de adhesión mecánica.....	12
3.	Teoría de la difusión.....	13
4.	Teoría eléctrica.....	14
5.	Requerimientos en uniones adhesivas.....	16
6.	Variación de la resistencia de la unión adhesiva incrementando anchura y longitud de solapamiento.....	17
7.	Variación de la resistencia de la unión adhesiva frente al solapamiento para diferentes grosores.....	18
8.	Tipos de falla en probetas de concreto.....	31
9.	Curva de envejecimiento a la temperatura de un adhesivo anaeróbico.....	35
10.	Concreto con aire incluido.....	48
11.	Concreto sin aire incluido.....	48
12.	Testigo de probeta según norma.....	51
13.	Nivelación de probeta según norma.....	52
14.	Dimensiones de la probeta.....	53
15.	Gráfica de cilindros patrón, tipo S y tipo A de 140 kg/cm ² (2000 psi)....	59
16.	Gráfica de cilindros patrón, tipo S y tipo A de 210 kg/cm ² (3000 psi)....	60
17.	Gráfica de cilindros patrón, tipo S y tipo A de 352 kg/cm ² (5000 psi)....	61
18.	Gráfica de factor de relación S/P para diferentes edades encontrado entre los cilindros tipo S y los cilindros patrón.....	65

19. Gráfica de factor de relación A/P para diferentes edades encontrado entre los cilindros tipo A y los cilindros patrón.....	66
20. Gráfica de factor de relación S/A para diferentes edades encontrado entre los cilindros tipo S y los cilindros A.....	67

TABLAS

I.	Dimensiones de la probeta.....	53
II.	Resultado de la resistencia de los cilindros patrón.....	55
III.	Comparación de los resultados de resistencia a siete días.....	56
IV.	Comparación de los resultados de resistencia a 14 días.....	57
V.	Comparación de los resultados de resistencia a 28 días.....	58
VI.	Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros patrón y cilindros tipo S para 13.72 N/mm ² (2000 psi).....	62
VII	Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros patrón y cilindros tipo A para 13.72 N/mm ² (2000 psi).....	62
VIII.	Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros tipo A y cilindros tipo S para 13.72 N/mm ² (2000 psi).....	62
IX.	Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros patrón y cilindros tipo S para 20.58 N/mm ² (3000 psi).....	63
X.	Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros patrón y cilindros tipo A para 20.58 N/mm ² (3000 psi).....	63
XI.	Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros tipo A y cilindros tipo S para 20.58 N/mm ² (3000 psi).....	63

XII. Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros patrón y cilindros tipo S para 34.50 N/mm ² (5000 psi).....	64
XIII. Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros patrón y cilindros tipo A para 34.50 N/mm ² (5000 psi).....	64
XIV. Comparación de resistencias encontrando una relación porcentual entre cilindros tipo A y cilindros tipo S para 34.50 N/mm ² (5000 psi).....	64
XV. Comparación de resultados del análisis costo-beneficio entre los dos tipos de adhesivos.....	68

GLOSARIO

Adherencia	Esfuerzo que se opone a la separación de dos cuerpos que se hallan en contacto.
Adhesivo	Sustancia capaz de mantener juntos materiales, por la unión de sus superficies.
Aditivo	Sustancia química, dosificada por debajo del 5% del peso del cemento, se agrega a la mezcla de concreto durante su elaboración, o directamente al material colocado en obra, con el fin de modificar una o varias propiedades físicas de acuerdo a las necesidades en la construcción.
ASTM	Sociedad Americana para el Ensaye e Inspección de los Materiales, (American Society for Testing Material).
Cohesión	La atracción molecular que mantiene unido el cuerpo de un sellador o adhesivo.
Concreto	Mezcla de cemento Pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua con o sin aditivos.

Curado	Endurecimiento por medio de una reacción química.
Elastómero	Material de la naturaleza del hule que recupera aproximadamente sus dimensiones en un corto tiempo, después de sufrir una deformación relativamente grande.
Epoxis	Son adhesivos normalmente bicomponentes en forma de resina, más activador.
Esfuerzo	Intensidad de fuerza por unidad de área.
Especificación	Son parámetros de comportamiento o características generalmente aceptadas por un ente reconocido, y sirve para ejecutar, implementar, realizar o construir un proyecto.
Espécimen	Semejante a muestra, prueba o modelo.
Látex	Emulsión acuosa de un elastómero.
Martilenado	Sistema utilizado para dar acabado rústico al concreto y consiste en picar el concreto con un objeto que tenga filo (Achueta, cincel), para desgastar el recubrimiento y dejar expuesto el agregado.

Monómeros	Material compuesto de moléculas simples. Un bloque de construcción de polímeros.
Norma	Reglas generalmente reconocidas por un ente nacional e internacional, que sirve para diseñar con control de calidad.
Poliadición	Se produce entre monómeros con enlaces dobles o triples en el momento, debe haber, como mínimo dos enlaces saturados
Polímero:	Compuesto formado por cadenas largas de moléculas. Las unidades que forman la cadena son monómeros.
Reológicos	Referente al estudio de las deformaciones producidas por causas tensionales a lo largo del tiempo
Resina:	material orgánico sólido, generalmente no soluble en agua, que tiene poca o ninguna tendencia a cristalizarse.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación evalúa dos tipos de epóxicos que se utilizan en el mercado para la unión de concreto nuevo con concreto viejo. Se han utilizado de base, las normas que nos proporcionan las especificaciones en las cuales debemos basar la elaboración de las probetas, y las diferentes condicionantes que debemos tomar en cuenta.

Se están tratando de evaluar las propiedades mecánicas de la unión misma entre concretos, la primera norma tomada en consideración es la ASTM C-1059, (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo), se refiere a la utilización de agentes látex y cabe mencionar, que esta norma no rige el ensayo para adherencia del tipo estructural que es lo que se pretende evaluar en este trabajo, de modo que, para ello debemos avocarnos a la norma ASTM C-881, (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas), que es la que se refiere al método que cubre la determinación del sistema a base de resinas epóxicas, su manipulación, aplicación y el cuidado que se debe tener al manejarlas.

Para la elaboración de la probeta se debe referir a la norma ASTM C-882, (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epóxicos a base de resina usados con concreto.), esta norma proporciona datos específicos de las dimensiones que debe guardar el espécimen.

El procedimiento que se siguió comienza con la elaboración de las probetas utilizando tubos de P. V. C. de tres pulgadas de diámetro, tomando en consideración las dimensiones que exige la norma para la forma y tamaño del espécimen. Se fundió la primera parte de los cilindros con la forma ya mencionada, cabe mencionar que la prueba se realizó con un concreto viejo de 28 días de edad al que se le aplicó el epóxico y luego se colocó concreto fresco para completar el cilindro.

Este procedimiento fue realizado para tres tipos de concreto como lo son el concreto de baja resistencia 140 kg/cm^2 (2000 psi), concreto estructural 210 kg/cm^2 (3000 psi) y de alta resistencia 352 kg/cm^2 (5000 psi), los cuales fueron ensayados a 7, 14 y 28 días para tener un registro de la evolución del concreto. Los resultados son comparados con cilindros patrón, los cuales nos proporcionan una referencia directa del comportamiento que se espera que los especímenes mantengan.

OBJETIVOS

➤ GENERAL

Evaluar la adherencia entre concreto antiguo y nuevo, utilizando dos tipos diferentes de adhesivos.

➤ ESPECÍFICOS

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

4. Analizar por medio de gráficos el comportamiento de adhesión entre concreto antiguo con nuevo.

5. Obtener resultados costo-beneficio de los adhesivos.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, específicamente en el área de la construcción, a menudo pueden encontrarse obras en las cuales se necesita que exista una adecuada adherencia entre un concreto antiguo como en un concreto nuevo, para que así cumplan los requerimientos del diseño o trabajo.

El motivo del presente trabajo de graduación es el de realizar pruebas de laboratorio, para determinar las características de dos tipos de adherentes utilizados para la unión de concreto nuevo con concreto antiguo, realizando comparaciones entre los mismos para obtener resultados, tanto de resistencia como de costo-beneficio, de los diferentes tipos de adherentes.

Dichas pruebas se realizarán según lineamientos de la norma ASTM C-881 (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas). ASTM C-1059 (Especificación para agentes Látex para unir concreto fresco y concreto endurecido).

La elaboración de los prismas está especificada en la norma ASTM C-882, (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epóxicos a base de resina usados con concreto).

1. ADITIVOS

Debido a que los componentes básicos del concreto hidráulico son el cemento, agua y agregados, cualquier otro componente que se incluya en su elaboración es considerado como un aditivo.

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional no se consideran aditivos; las puzolanas y las escorias, cuando forman parte de un cemento portland-puzolana, portland-escoria, tampoco las fibras de refuerzo por ser concretos que no se consideran convencionales.

El cemento hidráulico y las fibras de refuerzo, que se utiliza como componente del mortero o del concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado. Algunas de las propiedades que se pudieran modificar en el concreto son:

- Trabajabilidad
- Tiempo de fraguado
- Relación agua / cemento

El comportamiento y las propiedades del concreto hidráulico, en sus estados fresco y endurecido, suelen ser influidos y modificados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características, los componentes y las cantidades en que éstos se diseñan para elaborar el concreto. En cuanto a los extrínsecos, pueden citarse principalmente las condiciones ambientales que prevalecen durante la elaboración y colocación del concreto, las prácticas constructivas que se emplean en todo el proceso desde su elaboración hasta el curado, y las condiciones de exposición y servicio a que permanece sujeta la estructura durante su vida útil.

Algunos de estos factores pueden ser alternativas de maniobra por parte del usuario del concreto, pero otros no. Por ejemplo, los aspectos relativos a la composición del concreto y a las prácticas constructivas son factores susceptibles de ajuste y adaptación, en tanto los que corresponden al medio ambiente y a las condiciones de exposición y servicio, por lo general estos factores están fuera del control del usuario.

1.1 Tipos de Aditivos

Este es un tema de uso ya generalizado a nivel mundial, latinoamérica no es la excepción y debido a que varios países se han dado a la tarea de utilizar una normativa propia, la presente investigación se regirá bajo la norma ASTM C 494-90, especificación estándar de adiciones químicas para el concreto (Estándar Specification for Chemical Admixtures for Concrete). Entre los diferentes tipos de aditivos se encuentran:

1.1.1 Aceleradores de Fraguado

Como su nombre lo indica, cumplen la función de acelerar el fraguado. Disminuyen el tiempo de inicio y término de fraguado, logrando de este modo aumentar la resistencia del hormigón a edades tempranas (primeros 28 días). Al disminuir el tiempo de fraguado, también disminuye el tiempo para la colocación.

1.1.2 Retardadores de Fraguado

Funciona retardando el inicio de fraguado, otorgando mayores tiempos para la colocación del hormigón. Muy utilizado en hormigón premezclado donde éste es transportado a largas distancias y bastante tiempo desde su preparación hasta su colocación. Normalmente produce menores resistencias en edades tempranas, pero resultan en mayores resistencias a largo plazo.

1.1.3 Incorporadores de Aire

Ayudan a incorporar micro-partículas de aire al hormigón. Permiten hormigones de menores densidades y con mejores propiedades de aislamiento acústico y térmico. Es muy utilizado en zonas de hielo y nieve, ya que el aire incorporado permite la expansión del agua al congelarse evitando así que ésta rompa el hormigón, y aumentando su durabilidad. La incorporación de aire disminuye la resistencia a la compresión del hormigón. El aire incorporado por este mecanismo oscila entre un 2% y un 7% dependiendo de la cantidad de aditivos y áridos finos en el concreto.

1.1.4 Plastificantes

Aumentan la trabajabilidad del hormigón fresco, permitiendo una mayor docilidad de éste. Permite utilizar menos agua en la mezcla para alcanzar una mejor fluidez, mejorando la relación *agua/cemento* (A/C) y por lo tanto la resistencia del hormigón. Con plastificantes se alcanzan reducciones de hasta un 20% del agua requerida en la mezcla. Este aditivo se utiliza normalmente para:

- Mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco.
- Mejora la manipulación y colocación.
- Mejorar la resistencia del hormigón endurecido.
- Disminuir la dosis de cemento en la mezcla de hormigón.

1.1.5 Superplastificantes

De similares efectos que los plastificantes en el hormigón, pero en grados mayores. Con la aplicación de superplastificantes se alcanzan reducciones de hasta un 60% del agua requerida en la mezcla del hormigón. Son ampliamente

usados, principalmente en la elaboración de hormigones super resistentes y autocompactantes.¹

1.2 Tipos de Adhesivos

1.2.1 Antecedentes

Los adhesivos han sido utilizados por la humanidad desde tiempos remotos, dada la necesidad de juntar o unir diferentes tipos de materiales. La historia testifica que se usaron los adhesivos desde los tiempos de los antiguos egipcios y asirios. Los egipcios usaron los adhesivos para pegar el papiro, y se han encontrado muebles recubiertos con una película de madera en las tumbas de algunos de los faraones. Estos adhesivos eran indudablemente de origen animal. Los asirios no solo construyeron con el tabique de barro, el material moldeado de construcción mas antiguo que se conoce, sino que en muchos casos pegaron sus adobes con un mortero cementante, a base de arcilla. Los mismos asirios descubrieron mantos bituminosos cerca del río Eufrates, y usaron la brea como material cementante. Los griegos fueron los pioneros de la construcción revestida y martilenada. Construyeron algunas estructuras de caliza que luego formaron un mármol de granito fino, el mármol fue colocado con un mortero. Los primeros romanos también revestían construcciones con productos similares al concreto. Los chinos usaron morteros en sus obras estructurales y pegamentos animales en sus obras decorativas de construcción.

Sin embargo, el uso masivo de los adhesivos no comienza hasta finales del siglo XIX, con la primera emisión de sellos de correos, en 1840. Poco después, Charles Goodyear en 1839 descubre que mediante los procesos de vulcanización se logra la adhesión directa de caucho sobre metal. Los adhesivos en base a látex aparecen en 1937.

¹ Selladores y adhesivos para construcción, J. P. Cook

1.2.2 Tipos de Adhesivos

- Látex
- Epoxicos

1.2.2.1 Adhesivos Látex

Los agentes Látex para concreto deberán cumplir especificaciones de la norma ASTM C-881-90, (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas). Estos se dividen en:

- Estructurales
- No Estructurales

1.2.2.1.1 Adhesivos Estructurales

Los epoxis son adhesivos normalmente bicomponentes en forma de resina más activador. Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre las piezas a unir y mantener los sustratos en posición hasta alcanzada la resistencia requerida.

Los productos epóxicos se presentan en dos o más elementos. Las resinas y el endurecedor forman el sistema básico del material, mientras que el resto de los componentes son adiciones inertes para características determinadas y específicas. La resina es el adhesivo en sí, mientras que el endurecedor permite la reactividad y reticulación de las moléculas para formar la malla de pegado en el producto. Se emplean, por ejemplo, en mezclado de cemento, colocación de anclajes y conectores en fundiciones, y en elementos de concreto armado en construcción de puentes. Lo que mejor define a esta clase de productos es la capacidad de adherir casi todos los materiales de construcción,

independiente de las resistencias mecánicas, por eso son muy usados en refuerzos estructurales. Los epóxicos tienen más de cincuenta años, pero el avance tecnológico en este campo es constante; actualmente se trabaja en productos que tengan características determinadas como la aplicación bajo agua o resistencia a bajas temperaturas y en especial la rapidez en el pegado.

Los epoxis empleados en aplicaciones estructurales deben ser curados a temperaturas altas o a temperatura ambiente con post-curado por calor. La ventaja del post-curado como operación independiente, incluso en el caso de juntas ya curadas con temperatura moderada, es que puede ser realizado sin el uso de sistemas de sujeción o sistemas de calentamiento con prensas hidráulicas.

Las resinas epoxicas que se usan con este fin, deben cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C-881-90 (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas). Estos materiales pegarán superficies mojadas o húmedas. Con ellos es posible adherir metal, piedra y/o madera con el concreto.²

1.2.2.1.2 Puentes de adherencia

Dentro de estos podemos encontrar los epoxicos llamados puentes de adherencia, esta es una de las líneas mas importantes en las que se puede encontrar el adhesivo epoxico. El principio del producto consiste en darle continuidad al proceso de fundición de una obra en construcción, porque este no se puede hacer de una forma constante y con este producto se puede dar continuidad monolítica.

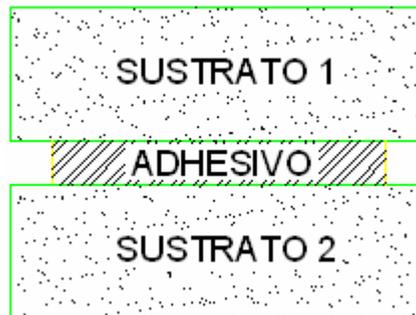
² Adhesivos usados en la construcción, Garcia Estrada, Angel –Adolfo

1.2.2.1.3 Anclajes y reparaciones

Esta es otra de las aplicaciones más frecuentes en las que se utilizan los adhesivos epoxicos, se observan en anclajes y reparaciones industriales por ejemplo en las estructuras dañadas por sismos. Sus usos van desde la inyección de grietas, la unión entre concretos hasta rellenos en general.

Son utilizados también en el campo de pilotes para la vinculación de micropilotes con estructuras, cabezales y zapatas. Aquí lo importante es la alta resistencia, facilidad de preparación y colocación.

Figura 1 Esquema básico de la unión adhesiva



Cuando se diseña una unión adhesiva se pretende que la rotura no sea en ningún caso adhesivo, es decir, que la separación nunca se produzca en la interfase sustrato-adhesivo. Los modos de rotura adhesiva no son nunca predecibles, puesto que la magnitud de la fuerza de adhesión, como se verá en posteriores temas, depende de un gran número de factores rara vez controlables en su totalidad. Por el contrario, sí se pueden conocer las características mecánicas del adhesivo y, por tanto, se pueden predecir las cargas a la rotura en modo cohesivo bajo diferentes tipos de esfuerzos. Una de las clasificaciones más empleadas se basa en el mecanismo de formación de la junta adhesiva. Así, se pueden distinguir dos grandes grupos de adhesivos.

1.2.2.1.4 Adhesivos prepolimerizados

Es decir, aquéllos cuyo polímero ya existía antes de ser aplicado el adhesivo sobre la unión, y **adhesivos reactivos**. Estos últimos se caracterizan porque el adhesivo en estado líquido, viscoso, gel, etc. se halla constituido por monómeros o cadenas oligómeras que polimerizan y/o se entrecruzan durante el proceso de polimerización que ocurre cuando tal adhesivo se ubica entre los sustratos a unir. Dentro de estos grandes grupos se definen diversas subclases:

1) Adhesivos prepolimerizados

a) En fase líquida

- i) Soluciones acuosas como los cementos, las colas o el almidón
- ii) Soluciones orgánicas como el caucho natural
- iii) Emulsiones o líquidas como los adhesivos en base a PVC

b) En fase sólida

- i) Adhesivos piezosensibles como los adhesivos de contacto o las cintas adhesivas.
- ii) Adhesivos termofusibles o fusiones candentes.

2) Adhesivos reactivos

- a) Que curan mediante poliadición como los cianoacrilatos, los anaeróbicos o los acrílicos
- b) Que curan mediante policondensación como los epoxis o las siliconas

Los principios de la adhesión son comunes a todas las familias adhesivas. Sin embargo, sólo los adhesivos reactivos son capaces de dar soluciones fiables a los problemas de ingeniería.

1.2.2.1.5 Comportamiento de los adhesivos antes del curado

Los componentes básicos de los adhesivos reactivos son los que siguen:

1. Producto base, casi siempre, una mezcla de monómeros o polímeros.

2. Aditivos:

- a) Colorantes
- b) Antioxidantes
- c) Iniciadores
- d) Plastificantes
- e) Agentes de "tack" (untuosidad)
- f) Sustancias fluorescentes
- g) Agentes de acoplamiento o promotores de la adhesión
- h) Estabilizantes

3. Cargas/espesantes

Es importante conocer en detalle el proceso de formación de la unión adhesiva. Básicamente, los adhesivos y selladores químicos deben ser sustancias con propiedades muy específicas antes y después de realizar la unión:

1. Antes de la unión el adhesivo/sellador debe ser capaz de copiar la superficie de los materiales a unir o sellar entrando en íntimo contacto con ellas, es decir, debe cubrir incluso las microcavidades para mojar toda la superficie sobre la que se aplique.

2. Después de la unión el adhesivo/sellador debe mantener los sustratos unidos y/o funcionar como barrera químico-física para prevenir el ingreso o la fuga de líquidos, gases o contaminantes.

Los fenómenos que tienen lugar antes de que el adhesivo cure, es decir, antes de la unión tienen un efecto directo sobre las interfases adhesivas de la unión. La adhesión es un fenómeno superficial que precisa un contacto íntimo entre las fases involucradas. Los factores que entran en juego en esta fase preliminar son dos:

- La relación entre la tensión superficial del adhesivo y la energía superficial del sustrato.
- Las propiedades reológicas del adhesivo antes de curar.

A excepción de los adhesivos piezosensibles (por ejemplo, las cintas adhesivas), el mismo material no cumple ambas funciones a no ser que se produzca un cambio físico-químico en su seno. Este proceso es lo que genéricamente se denomina curado y tiene lugar según diferentes mecanismos:

1. Mecanismos físicos: sucede en los denominados adhesivos prepolimerizados.

- a) Evaporación de un vehículo o solvente que emulsiona o disuelve la base del adhesivo.
- b) Paso desde un estado fluido a temperaturas elevadas a un estado sólido a temperatura ambiente.
- c) Mecanismos combinados: como ciertas fusiones candentes que se preaplican sobre los sustratos como adhesivos en base solvente

2. Mecanismos químicos: ocurre en los adhesivos de polimerización durante la unión adhesiva.

- a) Polimerización por policondensación.
- b) Polimerización por poliadición.
- c) Fenómenos de postcurado o reticulación del adhesivo una vez curado.
- d) Mecanismos combinados: como las cintas adhesivas curables por calor.

El mecanismo de curado afecta fundamentalmente a las características cohesivas del material adhesivo. El fenómeno de la adhesión ha sido objeto de un profundo estudio durante las últimas décadas. Sin embargo, no existe una teoría unificada que explique el fenómeno en conjunto, sino diferentes modelos que justifican cada caso particular. En la mayoría de los casos, ninguna de ellas por sí sola, sería capaz de explicar plenamente el fenómeno de la adhesión, siendo necesaria la combinación de varias.

Es por ello que en los libros de texto aparecen descritas todas ellas. Básicamente, se pueden distinguir dos tipos de fenómenos en la interfase sustrato-adhesivo: los de tipo físico y los de tipo químico. Las diferentes teorías pueden encuadrarse dentro de esta primera división:

1. Fenómenos físicos:

- a) Modelo de adhesión mecánica.
- b) Teoría de la difusión.
- c) Teoría eléctrica.

2. Fenómenos químicos:

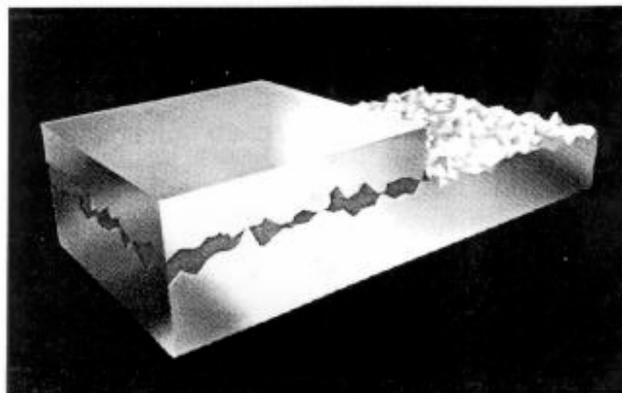
- a) Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial.

Existen teorías modernas que incluyen los efectos debidos a las propiedades cohesivas del adhesivo y a la aparición de capas débiles en los sustratos.

1.2.2.1.6 El modelo de adhesión mecánica

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

Figura 2 Modelo de adhesión mecánica

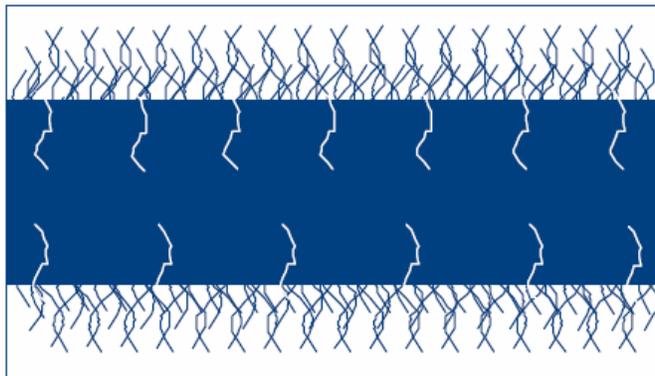


1.2.2.1.7 La teoría de la difusión

Se utiliza para explicar la adhesión de los polímeros entre sí. Plantea la adhesión como resultado de una interdifusión de las moléculas de los planos

superficiales, lo que conlleva la creación de una zona de transición entre el adhesivo y el adherente, la cual sustituye la noción de interfase pura sin espesor por la noción de interfase espesa o densa. El mecanismo parece ser basado en la migración de las cadenas poliméricas largas que son mutuamente solubles. Este fenómeno se encuentra limitado a la autoadhesión, a la adhesión de polímeros compatibles y quizás también a la soldadura termoplástica o con disolvente.

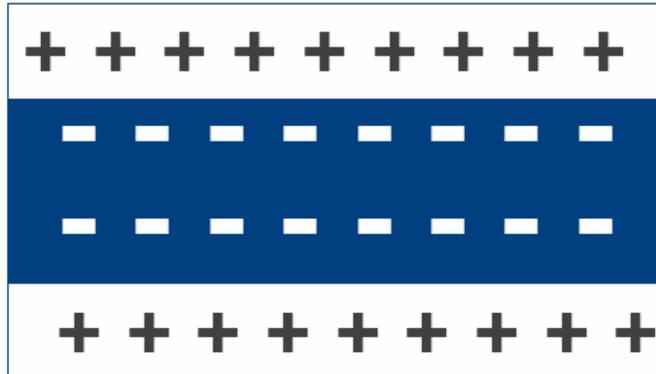
Figura 3 Teoría de la difusión



1.2.2.1.8 Teoría eléctrica

Compara el sistema adhesivo/sustrato a un condensador plano cuyas placas están constituidas por la doble capa eléctrica que se forma cuando dos materiales de naturaleza diferente se ponen en contacto, por ejemplo un polímero y el vidrio. La existencia de una doble capa eléctrica es fundamental para explicar los fenómenos de adhesión, pero no puede considerarse un modelo universal, y sólo se puede aplicar a determinados casos particulares. Además, la contribución a la adhesión debida a fuerzas de Van der Waals es en algunos casos superior a la procedente de interacciones electrostáticas.

Figura 4 Teoría eléctrica



1.2.2.1.9 Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial

Explica muchas de las uniones adhesivas que se realizan habitualmente. Algunos autores apoyan la idea de que al poner en contacto íntimo dos sólidos no importa que haya o no difusión porque cuando se produce, las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en la interfase son suficientes para garantizar una adhesión del mismo orden de magnitud, no existiendo por tanto una frontera clara entre difusión y adsorción termodinámica. En esta teoría estas fuerzas se denominan "fuerzas de humectación o mojabilidad" porque cuando se forma una unión adhesiva se pasa por una fase de contacto entre el líquido y el sólido, y este proceso es al fin y al cabo de mojado. En general, se distinguen diferentes tipos de fuerzas involucradas en el fenómeno de adsorción:

a) Enlaces secundarios:

- i) Fuerzas de Van der Waals.
- ii) Puentes de hidrógeno.

b) Enlaces primarios:

- i) Enlace iónico.
- ii) Enlace covalente.

A pesar de su debilidad relativa, los enlaces secundarios generan en la práctica uniones suficientemente fuertes, dado que la superficie que entra en juego es considerable. Los enlaces primarios mejoran la durabilidad de las adhesiones y suelen ser necesarios para la adhesión de materiales cerámicos y vidrio.

1.2.2.1.10 Diseño y evaluación de las uniones adhesivas

Los tecnólogos de la adhesión diseñan normalmente las formulaciones adhesivas para lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas. De este modo, conociendo las propiedades mecánicas del adhesivo se puede evaluar y, por tanto predecir, el comportamiento mecánico de una unión adhesiva. Según este enfoque, las propiedades mecánicas de la unión pueden estudiarse en base a las propiedades mecánicas del adhesivo que la constituye.

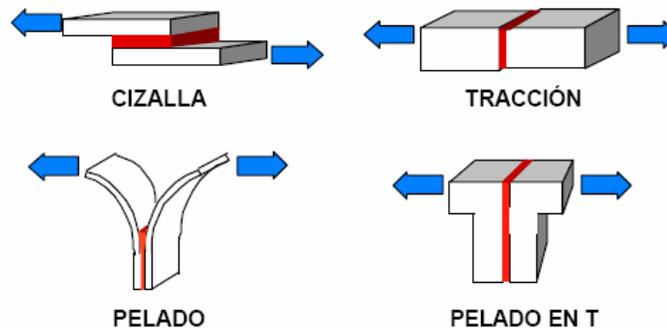
Los fracasos más frecuentes cuando se emplean adhesivos son debidos al desconocimiento de los esfuerzos a que va a estar sometida la unión. De hecho, dentro de ciertos límites, es viable proceder mediante determinadas reglas empíricas para diseñar y obtener adhesiones correctas. Aún así, cuando los esfuerzos son complejos es indispensable tener en cuenta todos los factores que pueden influir.

En la práctica, esto quiere decir que la naturaleza y la magnitud de las tensiones que se esperan durante el servicio de la unión deben conocerse

antes de decidir el tipo de adhesivo que se debe emplear. Los esfuerzos mecánicos actúan sobre los conjuntos ensamblados como esfuerzos de tracción, de compresión, de flexión, de torsión y de cortadura, provocando así las tensiones. Aún así, las tensiones no aparecen únicamente como consecuencia directa de transmitir fuerzas o energías, sino que también se pueden dar por la aparición de fenómenos secundarios que acompañan a los cambios de temperatura. Esquemáticamente, podemos hablar de los siguientes tipos de requerimientos sobre las uniones adhesivas:

- a) Esfuerzos normales: de tracción y de compresión.
- b) Esfuerzos de cortadura o cizalla.
- c) Esfuerzos de desgarro.
- d) Esfuerzos de pelado.

Figura 5 Requerimientos en uniones adhesivas

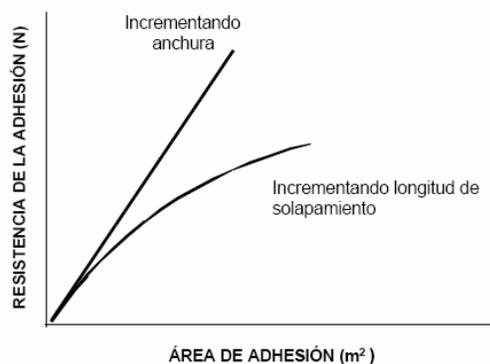


Para conseguir uniones adheridas correctas hay que plantear durante la etapa de diseño un trazado que evite en lo posible esfuerzos que no sean de tracción o de cortadura en las uniones adhesivas. Un paso extremadamente importante durante el proceso de diseño de la junta adhesiva es establecer los requisitos de la aplicación. Propiedades como la resistencia a cortadura, la resistencia a impacto, la pérdida de resistencia por envejecimiento térmico, las

tolerancias de montaje (holguras), la resistencia a la humedad, a nieblas salinas y a disolventes, los tiempos de manipulación requeridos y los límites aceptables para cualquiera de tales pruebas son ejemplos de características que deben ser especificadas. Lo ideal es describir o identificar de forma fácilmente comprensible los métodos de prueba empleados para determinar las propiedades de la adhesión y del adhesivo a emplear, como hacen por ejemplo los ensayos normalizados en la Norma ASTM la cual es aplicada en la presente investigación.

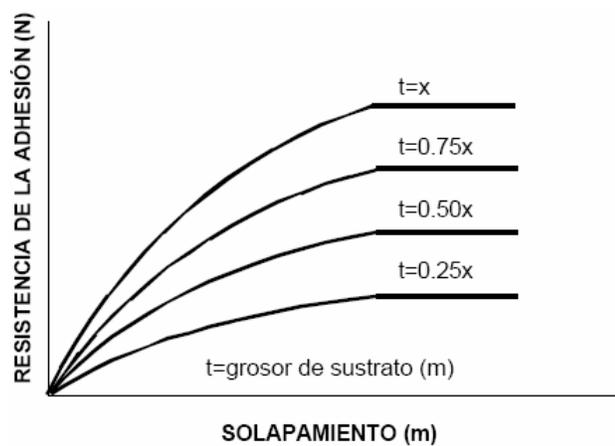
Tanto el diseño como la elección del adhesivo deben acomodarse a la aplicación, evitando en la medida de lo posible juntas adhesivas sobredimensionadas, que suelen encarecer de forma desproporcionada e innecesaria los costes de montaje. Los factores geométricos que se consideran en primer lugar son la anchura de la adhesión, la longitud de solapamiento y los espesores de adhesivo y sustratos. La resistencia a cortadura es directamente proporcional a la anchura de solapamiento. Sin embargo, la relación entre longitud de solapamiento y resistencia a cizalla no es lineal, aunque se produce un incremento. Esto es debido a que las tensiones se acumulan en los extremos de la zona de solapamiento.

Figura 6 Variación de la resistencia de la unión adhesiva incrementando anchura y longitud de solapamiento.



La longitud y la anchura no son las únicas variables geométricas que influyen en la resistencia de la adhesión. La carga a partir de la cual un sustrato comenzará a deformarse plásticamente depende de su rigidez y grosor. Sucede con frecuencia que la resistencia de adhesión de dos piezas delgadas supera el límite elástico y la resistencia última de los sustratos.

Figura 7 Variación de la resistencia de la unión adhesiva frente al solapamiento para diferentes grosores.



A menudo los adhesivos se combinan con operaciones de conformado, atornillado o soldado, resultando auténticas formas híbridas de la unión. En cuanto al diseño, en general la idea consiste en eliminar la dependencia del tiempo de curado del adhesivo y minimizar los problemas debidos a esfuerzos de pelado y de desgarro durante el funcionamiento del conjunto. El adhesivo reduce la concentración de esfuerzos y mejora el rendimiento de la unión frente a cargas dinámicas. Para poder seleccionar un adhesivo y predecir su comportamiento en una aplicación se emplea la hoja de datos técnicos que elabora el fabricante. Los valores que se incluyen corresponden a ensayos normalizados. Dado el elevado número de factores que afectan en el rendimiento de un adhesivo, sólo son comparables entre sí los resultados obtenidos mediante un mismo tipo de ensayo.

1.2.2.1.11 Tratamientos superficiales

La adhesión es un fenómeno de superficie. El espesor dentro del cual tienen lugar las interacciones entre adhesivo y sustrato (interfase adhesiva) tiene una magnitud del orden de las distancias intermoleculares. Es claro suponer que cualquier sustancia intermedia va a interferir en este fenómeno. Es más, cualquier capa exterior de composición o estructura diferente de la del seno del sustrato va a afectar la calidad de cualquier adhesión.

Cuando se buscan uniones reproducibles con durabilidad se necesitan procesos que aseguren la aptitud de la superficie para adherir o lo que es lo mismo, que se halle exenta de cualquier agente extraño que provenga del entorno o del mismo sustrato. Estos procesos se denominan tratamientos superficiales. Los tratamientos superficiales no son siempre imprescindibles. Sin embargo su aplicación permite optimizar la adhesión y, cuando menos, reproducir las características de la adhesión en grandes cadenas productivas preservando los niveles de calidad diseñados. Podemos enumerar los siguientes entre los más importantes. Los más utilizados industrialmente son la limpieza superficial y los tratamientos abrasivos:

1. Limpieza superficial

- a) Desengrasado en fase vapor.
- b) Tratamiento en baño de ultrasonidos.
- c) Frotado, inmersión o spray.

2. Tratamientos abrasivos

- a) Tratamientos químicos
- b) Imprimaciones

- c) Tratamientos de llama
- d) Tratamiento mediante plasma de baja presión

La rugosidad superficial influye enormemente en la resistencia de la adhesión. La relación exacta entre resistencia, durabilidad y rugosidad superficial es difícil de prever y puede variar entre adhesivos. Superficies rugosas proporcionan un anclaje mecánico para el adhesivo, pero pueden quedar atrapados pequeños volúmenes de aire, causando un mojado incompleto. Es posible que los adhesivos rígidos sean más compatibles con superficies suaves que los adhesivos flexibles a causa de la ausencia de puntos de rugosidad que eviten la aparición de puntas de tensión que a su vez podrían actuar como iniciadores de la fractura. Los adhesivos flexibles pueden deformarse bajo tensiones y resistir la rotura o el desgarro, de modo que la rugosidad no es un factor crítico para su uso.

Desde el punto de vista de la adhesión son preferibles acabados rústicos a acabados finos que disminuyen la superficie real del material, haciendo más difícil el anclaje mecánico y disminuyendo la extensión de la interfase adhesivo-sustrato. La viscosidad del adhesivo debe ser adecuada a la estructura geométrica fina y al estado energético de la superficie. Esto significa que las desigualdades de la superficie deben ser rellenadas y que las capas de adhesivo deben tener un espesor capaz de recubrir las holguras entre los sustratos. De ser así, la totalidad de la superficie podrá participar en la adherencia.

1.2.2.1.12 Adhesivos reactivos

Los adhesivos reactivos son aquéllos que polimerizan durante la unión adhesiva, es decir, cuando se hallan entre los sustratos que se pretende ensamblar. La profundidad de curado de un adhesivo reactivo depende del

grado de iniciación de la reacción de polimerización. En general, los adhesivos monocomponentes que curan mediante diversos sistemas de iniciación superficial (presencia de iones metálicos, presencia de humedad sobre las piezas, humedad ambiental, uso de activadores, etc.) presentan profundidades de curado limitadas. Sin embargo, los sistemas bicomponentes, los cuáles inician la polimerización en todo su volumen, permiten profundidades de curado ilimitadas.

El adhesivo pasa de estado líquido a estado sólido sin pérdida de masa y con inapreciables pérdidas de volumen. Tal característica es básica para realizar adhesiones de alto rendimiento y condición indispensable para obtener sellados fiables. Al no existir solvente alguno en la formulación son adhesivos que no presentan problemas de emisión de agentes inflamables, tóxicos o dañinos para el medio ambiente. El curado de los adhesivos reactivos tiene lugar según dos posibles mecanismos:

Poliadición: por adición al abrirse un doble enlace de un monómero que lo contenga.

Policondensación: por condensación de moléculas sencillas en la reacción de monómeros difuncionales con grupos terminales reactivos.

Un importante efecto que tiene el tipo de polimerización sobre los sistemas adhesivos es el relacionado con los tiempos de manipulación y de curado. Las poliadiciones son reacciones en cadena y tienen velocidades de reacción elevadas. Por el contrario, las policondensaciones son reacciones lentas que producen un incremento paulatino y continuo de la viscosidad del sistema adhesivo.

Los adhesivos anaeróbicos, los cianoacrilatos y los acrílicos curan según un proceso de poliadición. Por este motivo el lapso de tiempo entre la viscosidad inicial detectable y la resistencia a la manipulación de estos adhesivos es muy corto en comparación con el de epoxis o poliuretanos que curan mediante policondensaciones. En el caso de los epoxis, el adhesivo va espesándose hasta que llegado cierto punto no se recomienda la reposición, incluso mucho antes de que se alcance el tiempo de manipulación. En el caso de los acrílicos la reposición es posible antes de que se llegue a consumir el 80% del tiempo de fijación. Una vez que el acrílico tiene una viscosidad evidente la resistencia a la manipulación se logrará en muy poco tiempo, después del cual no se aconseja la reposición. Con los epoxis y poliuretanos es posible una cierta reposición incluso después de un apreciable incremento de la viscosidad.

Uno de los parámetros que tiene efecto directo sobre el grado de polimerización es la velocidad de polimerización. En las reacciones de poliadición viene determinada fundamentalmente por la etapa de iniciación. Cuando se generan numerosos puntos de crecimiento para las cadenas poliméricas se incrementa la velocidad de polimerización pero, al mismo tiempo, disminuye el grado de polimerización. Los polímeros que resultan tienen malas propiedades mecánicas.

Esto se observa claramente en los adhesivos que, como regla general, dan lugar a uniones más resistentes cuanto menor sea la velocidad de curado. Tal comparación es sólo válida para adhesivos del mismo tipo.

1.2.2.1.13 Adhesivos reactivos rígidos

Los adhesivos reactivos rígidos se caracterizan por generar uniones de elevada rigidez. Las familias más importantes se pueden clasificar según su capacidad de relleno de holguras:

1) Adhesivos reactivos rígidos para sustratos coincidentes:

- a) Anaeróbicos
- b) Cianoacrilatos

2) Adhesivos reactivos rígidos con capacidad de relleno de holgura:

- a) Epoxis

Aunque todos ellos pueden presentar deficiencias en aplicaciones dinámicas o frente a esfuerzos de pelado, existen versiones tenaces de todos ellos que mejoran su comportamiento en tales situaciones.

1.2.2.1.14 Epoxis

Los epoxis son adhesivos normalmente bicomponentes en forma de resina más activador. Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre las piezas a unir y mantener los sustratos en posición hasta alcanzada la resistencia a la manipulación.

En el pasado la mayoría de los epoxis se formulaban como bicomponentes que debían ser mezclados inmediatamente antes de ser empleados y tenían una vida de mezcla limitada. Sin embargo, en la actualidad existen adhesivos epoxi monocomponentes con un agente endurecedor latente que se libera únicamente por reacción a alta temperatura. Estos adhesivos fueron comercializados en 1975. Por debajo de la temperatura de la mezcla (por debajo de 0°C) no se produce reacción alguna. Al elevarse la temperatura comienza la policondensación de la resina.

Los epoxis empleados en aplicaciones estructurales deben ser curados a temperaturas altas o a temperatura ambiente con post-curado por calor. La ventaja del post-curado como operación independiente, incluso en el caso de juntas ya curadas con algo de calor, es que puede ser realizado sin el uso de sistemas de sujeción o sistemas de calentamiento con prensas hidráulicas.

El mayor interés en un reciente pasado se centró en los epoxis tenaces. Estos materiales incorporaban en su formulación un caucho, generalmente nitrilo, capaz de precipitar de forma microdispersa cuando la resina endurece. Con la adición de esta fase de caucho se mejoran las características del adhesivo curado frente a esfuerzos de pelado, sobre todo a bajas temperaturas en las que otros epoxis, como los nylonepoxis, pierden todas sus características de flexibilidad. Los epoxis tenaces bicomponentes fueron introducidos comercialmente en 1973.

1.2.2.1.15 Adhesivos reactivos tenaces

Los adhesivos reactivos tenaces presentan un excelente rendimiento en aplicaciones dinámicas y cuando las cargas aplicadas generan esfuerzos de pelado y/o desgarro. Además de las versiones tenaces de anaeróbicos, cianoacrilatos y epoxis, podemos hablar de otras familias adhesivas propiamente tenaces:

1) Adhesivos reactivos tenaces para sustratos coincidentes:

- a) Anaeróbicos tenaces
- b) Cianoacrilatos tenaces

2) Adhesivos reactivos tenaces con capacidad intermedia de relleno de holgura:

- a) Acrílicos
- b) Adhesivos de curado Ultra Violeta

3) Adhesivos reactivos tenaces con capacidad de relleno de holgura:

- a) Epoxis tenaces

De entre ellos hablaremos de las familias nuevas: los acrílicos y los adhesivos de curado Ultra Violeta

1.2.2.1.16 Acrílicos

Los adhesivos acrílicos modificados estructurales constituyen la más reciente y, tal vez, versátil de las familias de adhesivos empleadas en la unión de piezas en la industria.

Una característica diferenciadora de los adhesivos acrílicos es que no necesitan que la mezcla entre resina y activador sea completamente homogénea, ya que una vez generados los "centros activos", la propagación del polímero se produce en el seno del adhesivo. No se recomienda el uso de calor para acelerar el curado.

Los acrílicos se presentan comercialmente según dos sistemas principales de mezcla:

1. Sistemas adhesivo más activador
2. Sistemas bicomponentes
3. Sistemas bicomponentes sin necesidad de mezcla

Los diversos ensayos realizados sobre adhesivos acrílicos muestran su excelente durabilidad (resistencia a la fatiga, a agentes medioambientales, propagación de la rotura, efecto de la holgura de adhesión, diseño de la junta, etc.) comparado con los adhesivos estructurales más conocidos. Presentan además tiempos de manipulación muy cortos.

1.2.2.1.17 Adhesivos de curado Ultra Violeta

La polimerización-reticulación inducida por la luz se empleaba hace ya más de 4000 años en la preparación de momias. Pero no fue hasta finales del siglo XIX cuando Niepce ultra violeta o la brillante idea de emplear el mismo asfalto sensible a la luz como material imagen para obtener la primera fotografía permanente. Un adhesivo de curado Ultra Violeta contiene una sustancia química denominada fotoiniciador. Cuando el fotoiniciador se expone a la luz Ultra Violeta reacciona para generar radicales libres. Los radicales libres causan la polimerización de los monómeros en el sistema adhesivo.

Los sistemas adhesivos de curado Ultra Violeta tienen en ocasiones sistemas secundarios de curado mediante:

- a) Activadores químicos
- b) Sistemas de curado anaeróbico
- c) Calor
- d) Humedad
- e) Oxígeno atmosférico

Estos sistemas de post-curado modifican las características físico-químicas de la junta adhesiva. La primera limitación que tienen los adhesivos Ultra Violeta es el acceso de la luz a la junta adhesiva. Esto resulta sencillo cuando se pretenden unir sustratos de vidrio, puesto que una de las partes será

permeable a la luz Ultra Violeta permitiendo el curado del adhesivo. Si las partes son opacas la tecnología se limita a procesos de adhesión, encapsulado, relleno y recubrimiento. También es posible el curado de películas de adhesivo exponiendo la junta adhesiva a la luz Ultra Violeta desde uno de los laterales de la unión adhesiva.

La velocidad de curado depende de varios factores:

- a) La intensidad y el espectro de frecuencias emitidas por la fuente luminosa.
- b) La formulación del adhesivo y el espesor de la junta adhesiva.
- c) El espesor, la composición química y el color de cualquier vidrio o polímero a través del cual deba pasar la luz transmitida hacia la junta adhesiva.
- d) El color y brillo de los sustratos.

1.2.2.2 Adhesivos no Estructurales

Sirven para pegar parches, impermeabilizar grietas, capas sobre puestas, estos poseen un registro de servicio muy bueno. Son básicamente utilizados para arreglos donde no se comprometa la estructura misma. Las especificaciones dadas para este tipo de materiales están contenidas en la norma ASTM C-1059-99, (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo).

Dentro de los adhesivos no estructurales mas utilizados en el mercado podemos mencionar:

1.2.2.2.1 Adhesivos para tabiques

Entre la gama de adhesivos de alto consumo se encuentran los destinados para tabiques, con una serie de variedades orientadas a la construcción, cabe mencionar que la utilización de este tipo de adhesivo no es recomendable para estructuras que no tengan una importancia estructural ya que esto podría comprometer a la estructura en sí.

1.2.2.2.2 Adhesivos para molduras

En esta línea de productos, las alternativas son tan variadas como los materiales sobre los que operan, desde moldura de yeso, de madera, poliuretano hasta el polietileno. En la medida en que se cambia el material, se debe utilizar el adhesivo específico pues las exigencias son distintas.

1.2.2.2.3 Adhesivos para revestimiento

Este segmento tiene características particulares, pues los adhesivos que se incluyen en esta línea en numerosas ocasiones no solo deben tomar en cuenta factores técnicos y mecánicos, sino también considerar variables estéticas relacionadas con los materiales sobre los que van a operar.³

¹Op Cit, Selladores y adh.....

2. TIPOS DE ENSAYO Y NORMAS

2.1 Tipos de ensayo

El ensayo para la probeta de concreto a compresión está dado por las especificaciones siguientes:

2.1.1 Norma ASTM C-39-86, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto).

Para la elaboración de la probeta se procederá de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM C-881-87 (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epoxicos a base de resina usados con concreto), donde se hace referencia a las dimensiones que debe tener la probeta y el método de ensayo a utilizar.

En este ensayo se tomará en cuenta tanto la resistencia que alcance la probeta como la adherencia que pueda haber entre las dos mezclas de concreto, debe de apreciarse si la falla es por adherencia o por compresión que en cuyo caso sería lo que se espera de esta evaluación

2.2 Normas que regulan el ensayo

Las normas que regulan el ensayo de Adherencia entre concreto fresco y concreto viejo son:

2.2.1 Norma ASTM C-881-90, Standard Specification for Epoxi-Resins Base Bonding Systems for Concrete, (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas).

El alcance que pueda tener esta norma se refiere a que el método cubre la determinación de la fuerza del sistema a base de resina para el uso de cemento Pórtland. Este método trata de asegurar el endurecimiento del concreto viejo con el concreto recientemente mezclado.

La especificación cubre los dos componentes que se vinculan a una resina epóxica utilizada en juntas de concreto de cemento-portland, se puede utilizar en superficies húmedas. Es importante hacer notar el peligro que puede representar a la persona que manipule dichas resinas ya que debe de tenerse especial cuidado con las indicaciones de uso y manipulación del producto

2.2.2 Norma ASTM C-1059-99, Standard Specification for Látex Agents Bonding Fresh to Hardened Concrete, (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo).

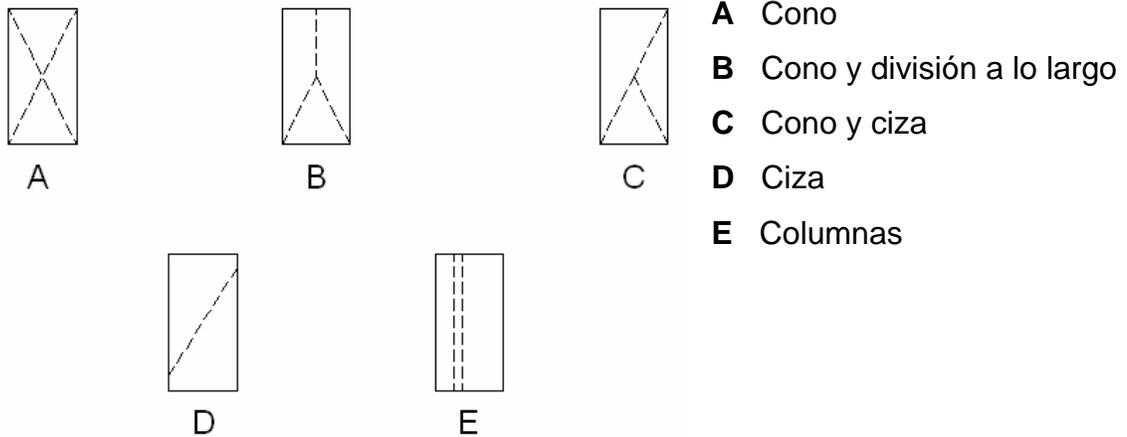
Estas especificaciones cubren la utilización de agentes Látex, especiales para aplicarse con una escoba o con spray, para unir concreto fresco con concreto viejo. Son especiales para unir concreto con superficies internas, piso, carreteras, superficies de puentes, rampas. Cabe mencionar que esta es una norma que rige la adhesión de concreto no estructural

2.2.3 Norma ASTM C-39-86, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto).

Esta norma proporciona los procedimientos y consideraciones que debemos tener a la hora de elaborar el ensayo para evaluar la calidad de concretos ya endurecidos mediante un método de testeo el cual se realiza aplicando una carga axial y perpendicular al área transversal de un cilindro de concreto, previamente preparado y nivelado de los extremos para corregir las imperfecciones que el cilindro pueda presentar con ello se logra una perpendicularidad ya antes mencionada y la distribución de carga uniforme.

En base a los resultados obtenidos por este método se puede dar un dictamen acerca de la calidad del concreto que se este utilizando y saber si es apropiado para la función que esta desempeñando dentro de las estructuras.³

Figura 8 Tipos de falla en probetas de concreto



³ American Society Testing Materials. Manual de normas volumen 4.02

3. FUNCIONALIDAD EN UNION DE CONCRETO NUEVO CON CONCRETO VIEJO

Existe una funcionalidad entre la unión de los concretos debido a que pueden provocarse fisuras, filtraciones o de falla parcial de la estructura, esto se debe a que actúan como elementos independientes con movimiento propio y no como estructura monolítica.

Rendimiento de la junta adhesiva frente a agentes externos

Una vez que el adhesivo ha curado completamente y por tanto adquirido sus características físico-químicas definitivas, se verá sometida a una serie de agentes externos que pueden modificar sus propiedades. El medio puede debilitar la junta adhesiva y provocar el fallo frente a esfuerzos mecánicos más débiles que los previstos.

Por ello, es necesario caracterizar las propiedades físico-químicas de cada adhesivo y su variación frente a los agentes externos a los que pueda verse sometida. Esto es lo que se conoce como "durabilidad del adhesivo". Los valores de resistencia ambiental se dan siempre en relación a la resistencia definitiva que se logra en la junta adhesiva. Normalmente se emplean ensayos normalizados (a tracción, desgarro, etc.) y se observa la pérdida de la resistencia inicial en porcentaje, tras exponer la probeta al agente concreto durante un número determinado de horas. Las gráficas resultantes nos dan una idea de la degradación de la unión adhesiva bajo tales condiciones.

Los factores que pueden afectar la unión adhesiva pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

1. Temperatura.
2. Humedad.
3. Fluidos: aceites, combustibles, disolventes orgánicos y clorados, agentes químicos agresivos, gases refrigerantes, etc.

Los efectos de la **temperatura** sobre la unión adhesiva son muy diversos, y dependen del modo en que la junta es sometida a los extremos de temperatura. Así, podemos diferenciar entre:

1. Efecto de las temperaturas bajas.
2. Resistencia al calor.
3. Envejecimiento a temperatura.

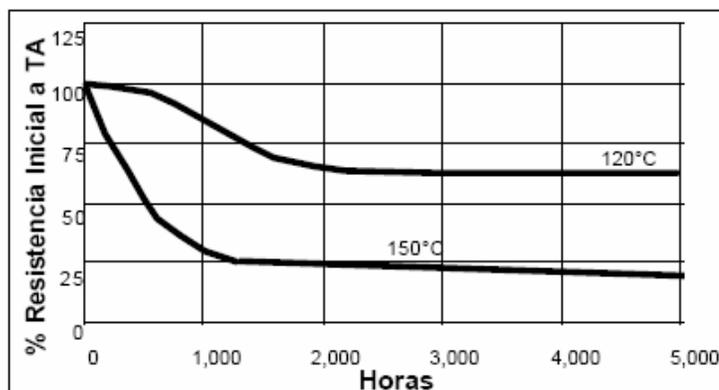
Los adhesivos son polímeros. El comportamiento de las adhesiones a **bajas temperaturas** viene condicionado por las características mecánicas del adhesivo a tales temperaturas. Tanto los termoplásticos como los termoestables se vuelven rígidos y frágiles a bajas temperaturas debido a que aumenta la rigidez de las cadenas que los constituyen. Esfuerzos débiles pueden provocar la rotura de la unión adhesiva. Los elastómeros pierden sus características viscoelásticas por debajo de su temperatura de transición vítrea, la cual suele estar varias decenas de grados bajo cero. A tales temperaturas se vuelven rígidos, pasando a tener un comportamiento vítreo, con módulos elásticos mucho mayores y elongaciones a la rotura muy inferiores. En condiciones de frío extremo las juntas elásticas podrán sufrir roturas por efecto de los esfuerzos producidos por las piezas que están sellando sobre la propia junta elástica, dando lugar a las fugas.

Se entiende por **resistencia al calor** la resistencia que presenta el adhesivo frente a altas temperaturas puntuales. El efecto de tales temperaturas es la disminución de la viscosidad del material polimérico durante un cierto

tiempo. Los materiales termoplásticos se reblandecen enormemente por encima de su temperatura de transición vítrea, llegando a un estado fluido por encima de la temperatura de reblandecimiento. El efecto del calor sobre estos materiales es muy drástico, aunque puede ser reversible, por debajo de la temperatura de descomposición. A altas temperaturas presentan un porcentaje muy bajo de su poder adhesivo inicial.

Los materiales termoestables, por el contrario, presentan sólo ligeras modificaciones de su reología por encima de la temperatura de transición vítrea, no llegando en ningún momento a un estado fluido. A temperaturas excesivamente altas pueden descomponerse de forma irreversible. Los materiales elastómeros presentan un comportamiento similar, aunque conservando sus propiedades elásticas cerca de la temperatura de descomposición.

Figura 9 Curva de envejecimiento a la temperatura de un adhesivo anaeróbico.



El efecto que tiene un agente externo sobre la junta adhesiva no siempre es consecuencia de su interacción con la masa de adhesivo. De hecho, la resistencia de una unión adhesiva sometida a condiciones de **humedad** no

depende del efecto que ésta tenga sobre el propio material polimérico, sino sobre la zona de adhesión.

Cuando el agua entra en contacto con la interfase adhesiva, ésta compite con el adhesivo curado mediante la absorción, ya que el agua puede desplazar al adhesivo e incluso combinarse con el sustrato. El agua tiende a desplazar la resina curada donde existan enlaces secundarios produciendo tensiones sobre los menos numerosos enlaces químicos de la interfase y dando lugar a fenómenos de adsorción.

Este fenómeno de desplazamiento ha sido ampliamente estudiado en conexión con los plásticos reforzados con vidrio (GRP). Norman, Stone y Wake estudiaron la adhesión en la interfase vidrio-resina en presencia de agua. El desplazamiento físico de la resina de la interfase es característico de sistemas adhesivos en los que sólo aparecen fuerzas secundarias de Van der Waals y, puesto que la superficie de un sustrato no cambia irreversiblemente por efecto de la adsorción de agua, tal desplazamiento es reversible.

Hay dos procesos involucrados en el deterioramiento de las juntas adhesivas por efecto de la humedad:

- 1) La absorción de agua por el adhesivo.
- 2) La adsorción de agua en la interfase por desplazamiento del adhesivo.

En el caso de uniones metal-metal, la única posibilidad de acceso de la humedad es a través del adhesivo. Sin embargo, los metales son materiales de alta energía superficial y tienden a combinarse con el agua, desplazando la junta adhesiva. En los materiales compuestos la humedad puede ser absorbida por la resina superficial y ser difundida hacia la interfase. La absorción por parte del adhesivo no causa el deterioro de la junta adhesiva por pérdida de la

resistencia del material polímero, sino porque es capaz de aportar a la interfase una mayor concentración de agua. Por este motivo, los adhesivos que presentan mejores durabilidades frente a ambientes húmedos son aquellos en los cuáles el agua es virtualmente insoluble.

Existen multitud de **fluidos** (gases y líquidos) que tienen también un efecto negativo sobre la junta adhesiva. La mayoría de ellos basan su influencia en la modificación de las propiedades del propio material adhesivo. Como en el caso de otros agentes externos, el efecto de los fluidos sobre la durabilidad de una adhesión se mide en relación con la resistencia máxima del adhesivo. Los ensayos se realizan también a lo largo del tiempo. De un modo general podemos hablar de dos tipos de efectos:

1. Efectos físicos: debidos a modificaciones de las propiedades físicas del adhesivo, sin que se produzca ninguna variación en su composición química.
2. Efectos químicos: por ataque o degradación paulatina del material adhesivo.

Los efectos físicos se deben normalmente a la penetración de la molécula en la propia estructura polimérica. Los fluidos, dependiendo del tamaño molecular, la presión, la temperatura, etc. pueden introducirse en la red del polímero, modificando su temperatura de transición vítrea o su resistencia frente a requerimientos externos. Los materiales termoestables presentan una red molecular tridimensional y son insolubles en disolventes. Cuando su grado de reticulación es muy elevado pueden sellar incluso el paso de moléculas muy pequeñas como es el caso de los fluidos refrigerantes o del vapor de agua. De hecho, comúnmente se emplean adhesivos anaeróbicos muy reticulados para el sellado de conducciones frigoríficas o de vapor.

El efecto de los fluidos sobre estos materiales, a no ser que exista un ataque químico, es en general inapreciable por lo que su durabilidad es elevada en contacto con combustibles, aceites y otros fluidos industriales.

Los materiales elastómeros son también insolubles pero por su bajo grado de reticulación admiten el paso de moléculas. No son buenos selladores para gases, sobre todo aquéllos constituidos por moléculas pequeñas, por lo que no se recomiendan para su sellado. Son buenos selladores de líquidos, excepto en el caso de aquellos líquidos que por afinidad química tienden a acumularse en el interior del retículo e hincharlo. Es el caso de muchos disolventes orgánicos. Concretamente, las siliconas, excepto en el caso de formulaciones especiales, se hinchan en presencia de aceites y combustibles.

Los materiales termoplásticos son solubles en disolventes afines. Por este motivo debe cuidarse el contacto de estos adhesivos con muchos agentes disolventes. Por otro lado, su carácter sellador es pobre en general no siendo materiales recomendados para sellados de un cierto rendimiento.

En cuanto a los efectos químicos, la durabilidad de un adhesivo se puede ver seriamente afectada cuando entra en contacto con un agente químico con el que sea susceptible de reaccionar. En tal caso se produce una auténtica degradación química e irreversible del adhesivo. Aunque depende de la química de cada familia adhesiva se puede afirmar de una forma general que los duroplásticos presentan una mayor durabilidad frente a agentes químicos que los elastómeros, y éstos mayor a su vez que los termoplásticos, porque tienen una estructura molecular más cerrada en la que el ataque químico progresa de una forma más lenta. Todos ellos son atacables por agentes oxidantes, ya que producen la degradación de los compuestos orgánicos.

3.1 Consecuencias

Las consecuencias debidas a una mala adherencia entre concretos pueden ser perjudiciales en gran medida y ello pondría en peligro la funcionalidad de la estructura.

3.1.1 Filtraciones

Las filtraciones en el concreto podrían aparecer debido a que no existe una adecuada adherencia en el concreto, esto puede verse aumentado si el adhesivo que se este utilizando no funciona correctamente como un sellante, esto perjudicaría al elemento estructural al que se le aplique.

3.1.2 Baja resistencia

Una consecuencia notable sería que al no haber una adecuada adherencia puede perderse en ese punto la resistencia a la que se ha diseñado, ello puede llevar al colapso a una estructura.

3.2 Ventajas y desventajas

3.2.1 Ventajas

Muy alta resistencia a corte, tracción y compresión, debido a la fuerza cohesiva que causa el adhesivo, se puede mencionar una resistencia a temperaturas de hasta 180° C (hasta 250° C en algunas formulaciones). Este tipo de sistema adhiere la mayoría de los sustratos expuestos entre sí formando un solo elemento, se puede hacer referencia a una buena resistencia química debida al intemperismo, hidratación y exposición al fuego, por su misma consistencia se puede decir que posee una gran capacidad de relleno esto es

beneficioso al momento de aplicarlo, estos adhesivos son muy rígidos, poseen una gran resistencia a pelado y a impacto en formulaciones flexibles (epoxi-nitrilo). Aunque es dieléctrico y aislante térmico, puede ser modificado ser conductor de la electricidad y del calor. Además se pueden adicionar cargas para mejorar las características mecánicas (como fibra de vidrio) o para disminuir la densidad (como micro esferas neumáticas).

3.2.2 Desventajas

La desventaja más grande que tiene la unión por adhesivos es la incertidumbre. No se conoce por el momento de ningún método adecuado no destructivo para probar una unión hecha con adhesivo. En las aplicaciones plenamente estructurales, esto puede significar que el componente en particular no se pruebe nunca en condiciones de plena carga de servicio, sino hasta que se coloque la estructura, que puede ser ya demasiado tarde. Las propiedades de la línea real de pegamento son un tanto difíciles de determinar. El módulo de elasticidad de la capa de unión debería aproximarse al valor del módulo del concreto. Presentan problemas de absorción y difusión de la humedad en su seno. Consta de una serie de sistemas de alto rendimiento hechos con bicomponentes y con necesidad de calor, al menos en la etapa de post-curado existen problemas de tiempos a la hora del curado, la vida de la mezcla y la necesidad de alta temperatura para conseguir un alto grado de reticulación.²

Los epoxis se emplean en varias aplicaciones:

- Aditivos para hormigones y elementos de construcción
- Adhesivos estructurales para la industria aeronáutica
- Fabricación de materiales compuestos
- Recubrimientos superficiales

² Op cit Adhesivos....

4. PROPIEDADES DEL CONCRETO

4.1 Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la carga aplicada en la sección perpendicular de un espécimen de concreto o de mortero aplicando carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (N/mm^2) a una edad máxima de 28 días. La compresión de mortero se realizan sobre cubos de 50 mm por lado, en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, de hecho la norma no establece un mínimo ni un máximo es clara en especificar que la altura debe ser dos veces el diámetro (por esbeltez).

La resistencia del concreto a compresión es una propiedad mecánica frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de cualquier tipo de estructuras. El concreto de uso generalizado tiene capacidad a la compresión entre 20.58 N/mm^2 y 34.50 N/mm^2 , un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de 41.16 N/mm^2 , resistencias de hasta 137.2 N/mm^2 se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción.

La relación existente entre las resistencias a compresión, flexión, tensión, torsión, y corte, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre. El módulo de elasticidad, se puede definir como la relación del esfuerzo normal, la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, el módulo de elasticidad se encuentra entre 13778.80 N/mm^2 y 41356 N/mm^2 .

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – cemento y la edad, fraguado, curado de hidratación. Estos factores también

afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero. Cuando se requiera de valores más precisos para el concreto se deberán desarrollar curvas para los materiales específicos y para las proporciones de mezclado que se utilicen en el trabajo. Para una trabajabilidad y una cantidad de cementos dados, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación agua – cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

4.2 Adherencia entre concretos

Generalmente, se emplean capas adherentes para ligar el concreto o mortero fresco al concreto existente. En el pasado, se ha usado comúnmente mortero arena-cemento o pasta de cemento. Agentes adherentes también pueden ser usados para una seguridad adicional.

Algunas veces se usan resinas epóxicas como agentes adherentes, estos materiales desarrollan buena adherencia alcanzando resistencias a tensión y cortante mayores que las del concreto. Son resistentes a la mayor parte de los químicos y algunas formulaciones son altamente resistentes al agua. No es posible alcanzar resultados aceptables cuando el concreto es colocado en capas delgadas. Hay algunas desventajas en el uso de las resinas epóxicas, como la toxicidad y su corta duración después de preparada. Se han relacionado con diferencias en las propiedades térmicas y de tensión; a módulos de elasticidad diferentes de los dos materiales.

Para alcanzar resultados más efectivos, los agentes adhesivos epóxicos deben aplicarse en capas no más gruesas de 5 mm. En ASTM C 881-90

(Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas), se dan tipos y grados de epoxis para varios usos.

También están disponibles otros tipos de agentes adherentes. Ciertos Látexes, disponibles como emulsiones o dispersiones, mejoran la adherencia y tienen buena resistencia al agrietamiento. Acetatos de polivinilo, butadieno estireno y acrílicos están entre los más usados. Sin embargo, los acetatos de polivinilo no deberán de usarse, excepto en condiciones de servicio secas según la norma ASTM C-1059-99 (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo). Los Látexes pueden usarse ya sea como una capa adherente o agregado al concreto o mortero durante el mezclado. Las superficies deben ser humedecidas con agua antes de la colocación del concreto modificado con látex.³

³ Manual de tecnología del concreto tomo IV

5. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO A EVALUAR

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesto de cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada), para formar una masa semejante a una roca ya que la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

- Cohesión y manejabilidad
- Concreto, pérdida de revenimiento fresco
- Asentamiento y sangrado
- Tiempo de fraguado
- Adquisición de resistencia mecánica
- Concreto, generación de calor endurecido
- Resistencia al ataque de los sulfatos
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados)

5.1 Propiedades mecánicas del concreto

Endurecimiento del concreto con la edad, la combinación del cemento con el agua de la mezcla se realiza lentamente, logrando hidratar a los 30 días en las mejores condiciones de laboratorio, sólo un poco más del 80% del cemento empleado. En el transcurso del tiempo, el cemento continúa su proceso de hidratación tomando el agua necesaria del ambiente atmosférico.

Los concretos fabricados con cemento de alta resistencia, alcanzan a los 7 días la resistencia correspondiente a los 28 días del cemento Tipo I, pero a los dos años ambas resistencias son prácticamente iguales. Se ha formado con

valores medios obtenidos de la ruptura a la compresión de cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, fundidos y curados de acuerdo con la especificación ASTM C-39-86 (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto).

Cuando se efectúa la ruptura del cilindro a los 28 días de colado, la fatiga correspondiente a esa ruptura se representa por $f' c$ y constituye el valor base al cual se refieren las especificaciones.

Proporciones en el concreto

Las proporciones de los materiales del concreto deben permitir la mayor compactación posible, con un mínimo de cemento. Las proporciones de una mezcla se definen numéricamente mediante la simbología siguiente 1:2:4 que representa: "1" parte de cemento, "2" partes de arena, "4" partes de grava, al peso o al volumen. Las proporciones (dosificaciones) al peso son las más recomendables.

La proporción en volumen da la misma resistencia que la proporción en peso, ya que la resistencia es la base de un buen concreto. Las proporciones en volumen son cada vez menos usadas; se usan donde no se requiere una resistencia muy controlada: aplicaciones caseras o poblaciones pequeñas alejadas de los centros urbanos, y siempre presentan grandes variaciones en su resistencia, no siendo modernamente recomendables. En las ciudades grandes la producción se hace generalmente en plantas de premezclado, lo que permite un control de calidad estricto y una resistencia del concreto más uniforme, con reducción en el consumo de cemento. Una mezcla típica de concreto en el país tiene una resistencia de 210 kgf/cm^2 (3000 psi), o 21 MPa.

Siendo la compresión la propiedad más característica e importante del concreto, las demás propiedades mecánicas se evalúan con referencia a ella.

La resistencia a compresión (f'_c) se mide usualmente mediante el ensayo a compresión en cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y con 28 días de edad. Últimamente se ha ido popularizando la medida de la compresión con cilindros de menor diámetro 100 y 75 mm, con las ventajas de menor consumo de concreto para el programa de control de calidad y menor peso para el transporte de los cilindros; en este caso el tamaño máximo del agregado debe limitarse a 2,5 cm (una pulgada).

La resistencia a compresión (f'_c) varía significativamente con la variación de algunos parámetros, tales como: la relación agua-cemento (a/c), el tamaño máximo de la grava, las condiciones de humedad durante el curado, la edad del concreto, la velocidad de carga, la relación de esbeltez de la muestra (en casos de ensayos sobre núcleos extraídos de concretos endurecidos es diferente de 2 veces el diámetro, que es la relación de los cilindros estándar, usados para determinar la resistencia del concreto).

Ya se mencionó que el concreto posee una resistencia a la tensión baja y cercana al 10% de la resistencia a compresión; en la actualidad esta resistencia se obtiene mediante el ensayo de los cilindros apoyados en su arista, denominado "ensayo brasileño".

5.2 Dosificación de los componentes del concreto

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en tamiz No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo del agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm (3/4 in o 1 in respectivamente).

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25% al 40% del volumen total del concreto. **La Figura 9 y Figura 10** muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7% y el 15% y el agua entre el 14% y el 21%. El contenido de aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Figura 10 Concreto con aire incluido

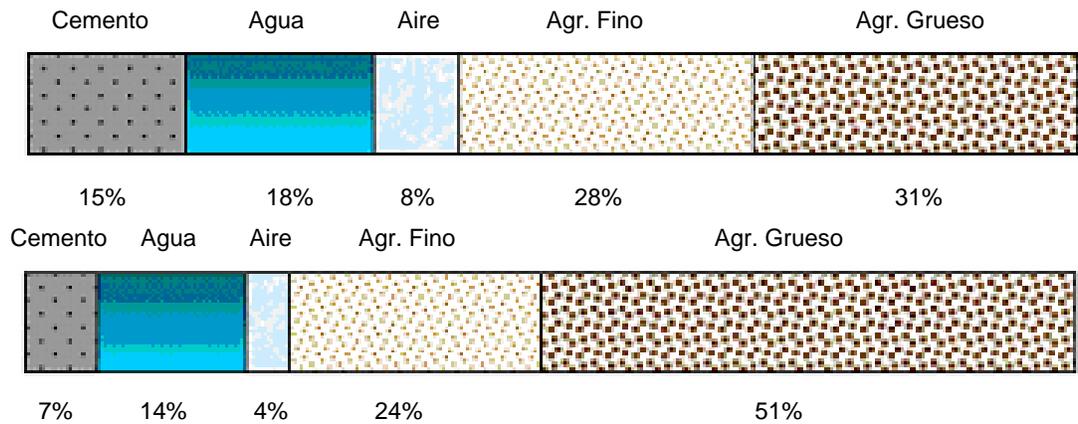
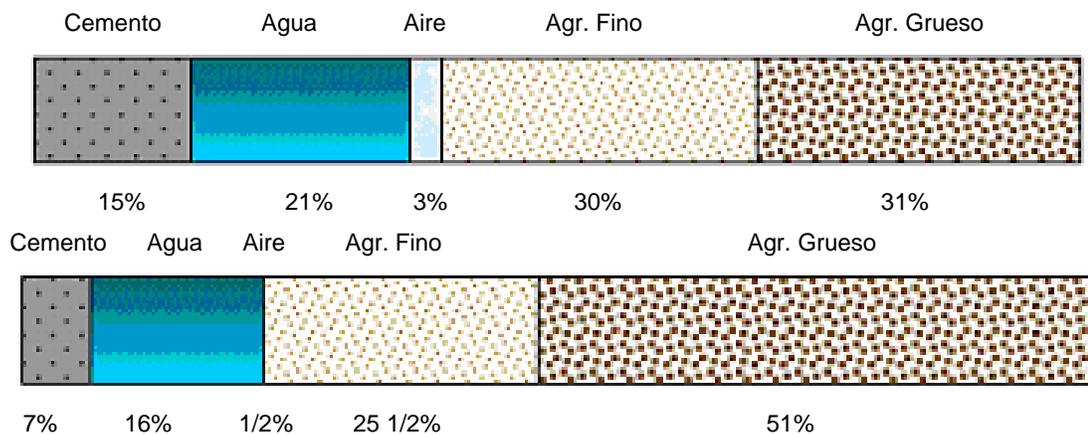


Figura 11 Concreto sin aire incluido



Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencia a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una buena granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta, así como también todos los espacios entre partículas de agregado. Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido esta determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo, debido a la propiedad de impermeabilizante del agente adherente.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y un incremento en relación a la resistencia a compresión.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción debido a la cohesión entre las partículas que intervienen, tanto del concreto como del epóxico.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos, usualmente en forma líquida durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para:

- Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento
- Reducir la demanda de agua
- Aumentar la trabajabilidad
- Incluir intencionalmente aire
- Ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, con resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere muy poco o nada de mantenimiento.³

5.3 Testigo de concreto

La probeta de concreto se hará de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C-881-87, (Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete), Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epoxicos a base de resina usados con concreto.

³ Op Cit Manual de Tec....

Figura 12 Testigo de probeta según Norma ASTM C-881-87 (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epoxicos a base de resina usados con concreto).



Este método de la prueba cubre la determinación de la fuerza en la unión del concreto de cemento-Portland del uso de los sistemas de la vinculación de la de base de resina epoxica, este método de prueba que une el concreto nuevo al concreto endurecido. Este método de prueba nos permitirá evaluar de qué forma es posible unir los dos tipos de concreto para que estos conserven sus características mecánicas. Esta norma es la que proporciona las especificaciones de cómo hacer la prueba y elaborar la probeta.

Luego de tener la probeta se aplica la resina en la superficie inclinada depositando el concreto nuevo para completar un cilindro que cumpla con las condiciones de esbeltez que exige la Norma ASTM C-39-86 (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto), para luego ser ensayado a compresión y corroborar el tipo de falla que se presente, de acuerdo a la adherencia.

Figura 13 Nivelación de probeta según Norma ASTM C-39-86 (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de concreto).



5.4 Metodología

Utilizando P. V. C. para la elaboración de la probeta y las medidas proporcionadas por la Norma ASTM C-881-87 (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epoxicos a base de resina usados con concreto), **Figura 13, Tabla I** Se procedió a elaborar tres probetas para cada una de las edades 7, 14, 28 días y resistencias 13.72 N/mm^2 (2000 psi), 20.58 N/mm^2 (3000 psi), 34.50 N/mm^2 (5000 psi).

Se dio un tiempo prudencial para poder trabajar a resistencias máximas (28 días), en este momento se aplica el adhesivo tipo S y tipo A a la probeta de concreto. Se procede a completar el cilindro, esperando 7, 14 y 28, esto con el fin de evaluar el tipo de adherencia que el concreto posea a estas edades.

Figura 14 Dimensiones de la probeta

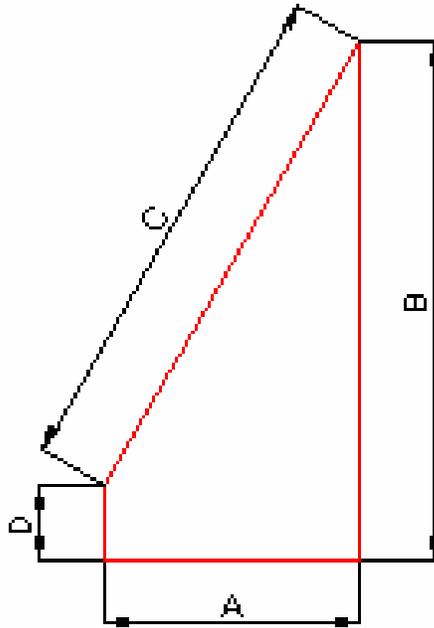


Tabla I Dimensiones de la probeta

TIPO	in	mm
A	3,000	76,2
B	5,598	142,2
C	6,000	152,4
D	0,402	10,2

6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EVALUAR LA ADHERENCIA DE LOS ADHESIVOS

6.1 Resistencia a la compresión

Para una explicación más detallada de lo que es la resistencia a la compresión a continuación se presentan las tablas comparativas de los cilindros patrón y los resultados que expusieron las pruebas acerca de los dos tipos de adherentes usados en el mercado.

Tabla II Resultado de la resistencia de los cilindros patrón

CILINDROS	EDAD días	PESO kg	AREA mm²	CARGA N	RESISTENCIA N/mm²
Patrón 13.72 N/mm² (2000 psi)	7	2,05	9050	30043.85	5.50
	14	2,00	9130	51113.34	9.45
	28	2,05	9025	75558.87	13.97
Patrón 20.58 N/mm² (3000 psi)	7	2,30	9125	63558.37	11.75
	14	2,30	9015	95115.25	17.58
	28	2,30	9035	115560.58	21.36
Patrón 34.50 N/mm² (5000 psi)	7	2,25	9020	74669.89	13.80
	14	2,30	9025	112004.89	20.70
	28	2,25	9020	187119.32	34.79

Tabla III Comparación de los resultados de adherencia a 7 días

CIL.	PESO kg	AREA mm²	CARGA N	ESFUERZO DE COMPRESIÓN N/mm²	PROM. N/mm²	TIPO DE FALLA
Tipo S 13.72 N/mm² (2000 psi)	2,05	9130	37779.43	6.98	7.04	C
	2,15	9025	38223.87	7.07		
	2,05	9130	38223.87	7.07		
Tipo A 13.72 N/mm² (2000 psi)	2,05	9155	24001.09	4.44	4.46	D
	2,10	9155	24445.53	4.52		
	2,15	9135	24001.09	4.44		
Tipo S 20.58 N/mm² (3000 psi)	2,25	9155	80447.97	14.87	14.90	C
	2,20	9060	80889.47	14.95		
	2,25	9060	80447.97	14.87		
Tipo A 20.58 N/mm² (3000 psi)	2.25	9035	52002.31	9.61	9.58	D
	2,20	9055	51557.78	9.53		
	2,25	9045	52002.31	9.61		
Tipo S 34.50 N/mm² (5000 psi)	2,40	9035	60891.55	20.79	20.81	D
	2,45	9020	61335.99	20.87		
	2,45	9050	60891.55	20.79		
Tipo A 34.50 N/mm² (5000 psi)	2,55	9055	11244.70	11.25	11.28	D
	2,60	9050	11296.97	11.34		
	2,55	9030	11244.70	11.25		

Tabla IV Comparación de los resultados de adherencia a 14 días

CIL.	PESO kg	AREA mm²	CARGA N	ESFUERZO DE COMPRESIÓN N/mm²	PROM. N/mm²	TIPO DE FALLA
Tipo S 13.72 N/mm² (2000 psi)	2,05	9120	52446.79	9.69	9.72	C
	2,15	9025	52891.19	9.78		
	2,05	9125	52446.79	9.69		
Tipo A 13.72 N/mm² (2000 psi)	2,05	9150	38668.31	7.15	7.20	D
	2,10	9155	39112.84	7.23		
	2,15	9130	39112.84	7.23		
Tipo S 20.58 N/mm² (3000 psi)	2,25	9055	86670.49	19.62	19.81	C
	2,25	9050	85781.51	19.86		
	2,25	9060	86226.73	19.94		
Tipo A 20.58 N/mm² (3000 psi)	2.25	9035	56002.44	10.35	10.35	D
	2,20	9055	56446.88	10.45		
	2,20	9045	55558.00	10.27		
Tipo S 34.50 N/mm² (5000 psi)	2,40	9035	149339.88	27.60	27.58	C
	2,45	9020	148895.35	27.52		
	2,45	9050	149339.88	27.60		
Tipo A 34.50 N/mm² (5000 psi)	2,55	9055	91559.59	16.92	16.90	D
	2,55	9050	91115.06	16.84		
	2,55	9030	91559.59	16.92		

Tabla V Comparación de resultados de adherencia a 28 días

CIL.	PESO kg	AREA mm²	CARGA N	ESFUERZO DE COMPRESIÓN N/mm²	PROM. N/mm²	TIPO DE FALLA
Tipo S 13.72 N/mm² (2000 psi)	2,05	9125	88003.80	16.27	16.24	C
	2,10	9025	87559.36	16.18		
	2,15	9120	88003.80	16.27		
Tipo A 13.72 N/mm² (2000 psi)	2,15	9155	64447.24	11.91	11.86	D
	2,15	9150	64891.68	11.99		
	2,15	9150	63113.83	11.67		
Tipo S 20.58 N/mm² (3000 psi)	2,25	9055	133339.16	24.65	24.43	C
	2,30	9050	131116.87	24.24		
	2,30	9060	132005.75	24.40		
Tipo A 20.58 N/mm² (3000 psi)	2,25	9045	88892.77	16.93	17.25	D
	2,20	9055	93337.44	17.25		
	2,20	9045	97782.00	18.07		
Tipo S 34.50 N/mm² (5000 psi)	2,40	9045	187119.32	34.59	34.59	C
	2,40	9020	186674.78	34.51		
	2,45	9050	187563.75	34.67		
Tipo A 34.50 N/mm² (5000 psi)	2,50	9050	88892.77	16.43	16.70	D
	2,50	9050	88892.77	16.43		
	2,50	9030	93337.44	17.25		

Figura 15 Gráfica de cilindros Patrón, tipo S y tipo A de 13.72 N/mm² (2000 psi).

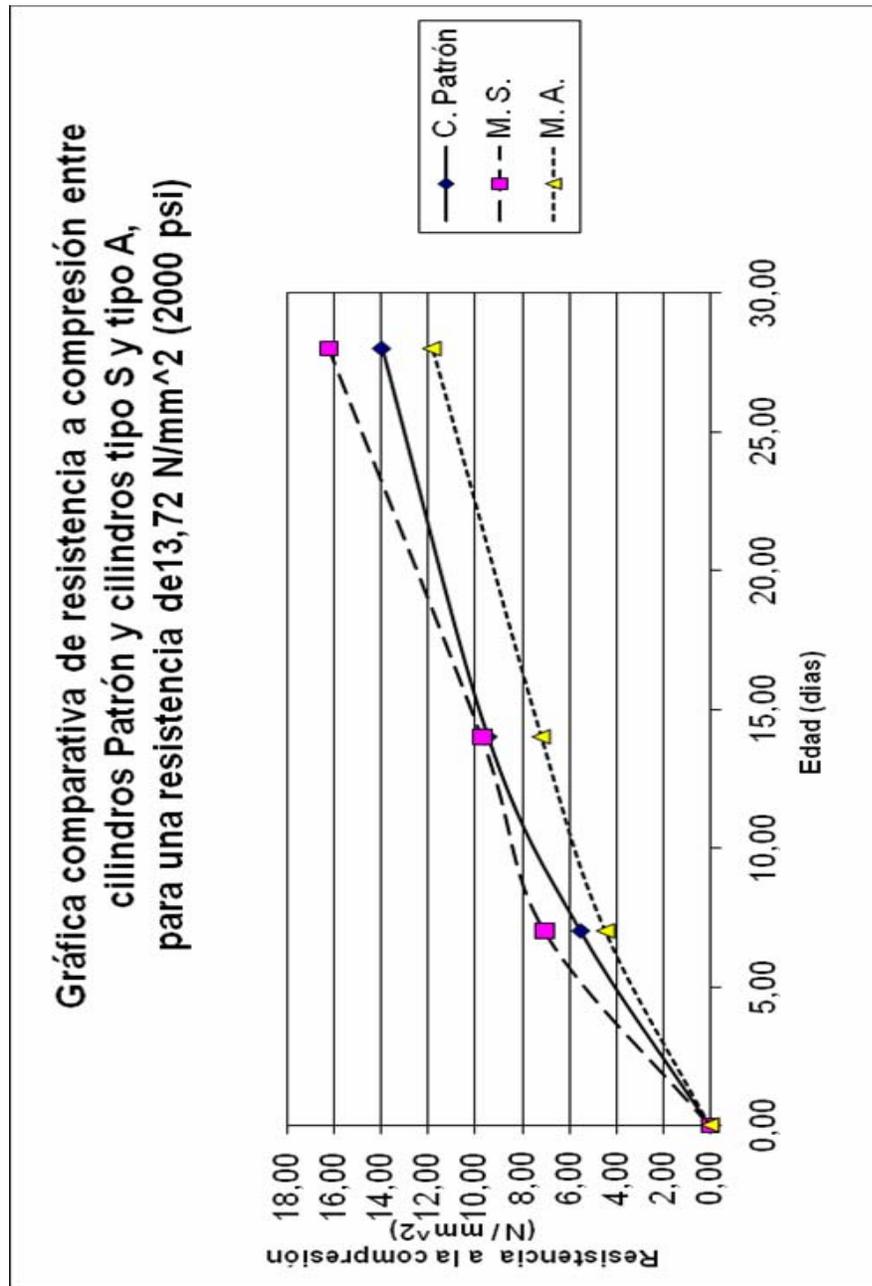


Figura 16 Gráfica de cilindros Patrón, tipo S y tipo A de 20.58 N/mm² (3000 psi).

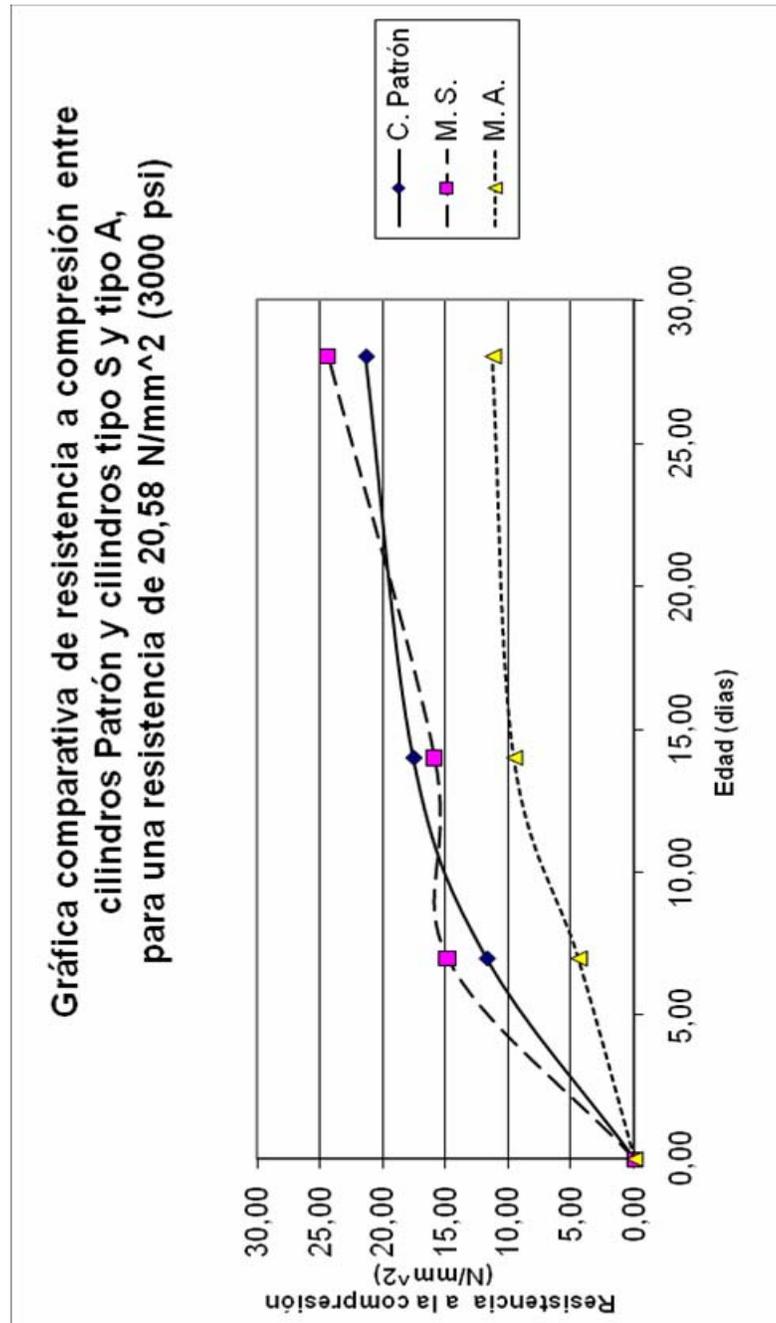
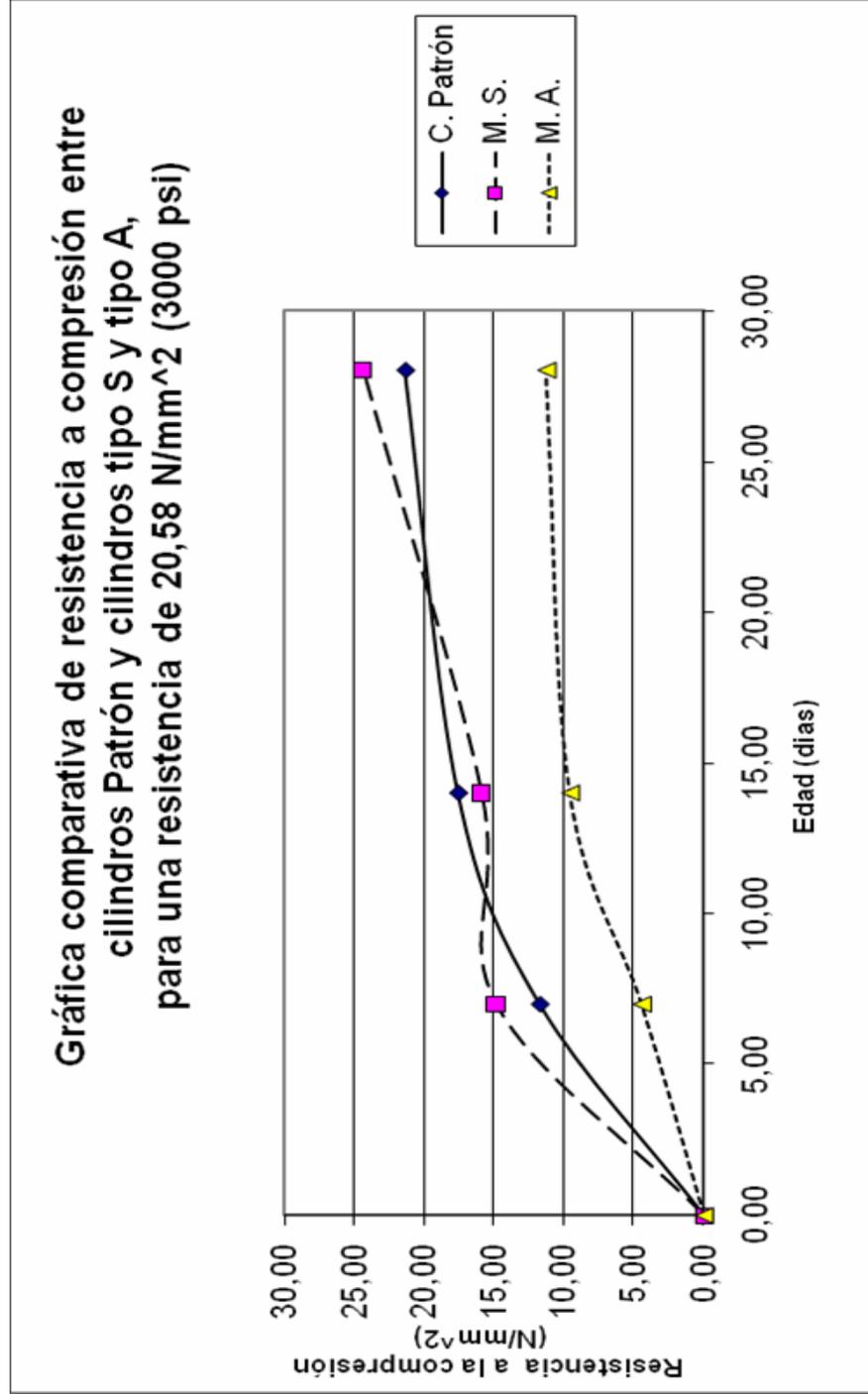


Figura 17 Gráfica de cilindros Patrón, tipo S y tipo A de 34.50 N/mm² (5000 psi).



6.2 Análisis de resultados

Tabla VI Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros patrón y cilindros tipo S, para 13.72 N/mm² (2000 psi).

Edad en días	Cilindro Patrón N/mm² (P)	Cilindro Tipo S N/mm² (S)	Factor de relación (S/P)
7	5,50	7,04	1,28
14	9,45	9,72	1,03
28	13,97	16,24	1,16

Tabla VII Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros patrón y cilindros tipo A, para 13.72 N/mm² (2000 psi).

Edad en días	Cilindro Patrón N/mm² (P)	Cilindro Tipo A N/mm² (A)	Factor de relación (A/P)
7	5,50	4,46	0,81
14	9,45	7,20	0,76
28	13,97	11,86	0,85

Tabla VIII Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros tipo S y cilindros tipo A, para 13.72 N/mm² (2000 psi).

Edad en días	Cilindro Tipo S N/mm² (S)	Cilindro Tipo A N/mm² (A)	Factor de relación (S/A)
7	7,04	4,46	1,58
14	9,72	7,20	1,35
28	16,24	11,86	1,37

Tabla IX Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros patrón y cilindros tipo S, para 20.58 N/mm² (3000 psi).

Edad en días	Cilindro Patrón N/mm² (P)	Cilindro Tipo S N/mm² (S)	Factor de relación (S/P)
7	11,75	14,90	1,27
14	17,58	19,81	1.12
28	21,36	24,43	1,14

Tabla X Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros patrón y cilindros tipo A, para 20.58 N/mm² (3000 psi).

Edad en días	Cilindro Patrón N/mm² (P)	Cilindro Tipo A N/mm² (A)	Factor de relación (A/P)
7	11,75	4,46	0,38
14	17,58	9,59	0,55
28	21,36	11,28	0,53

Tabla XI Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros tipo S y cilindros tipo A, para 20.58 N/mm² (3000 psi).

Edad en días	Cilindro Tipo S N/mm² (S)	Cilindro Tipo A N/mm² (A)	Factor de relación (S/A)
7	14,90	4,46	3,34
14	19,81	9,59	2.06
28	24,43	11,28	2,17

Tabla XII Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros patrón y cilindros tipo S, para 34.50 N/mm² (5000 psi).

Edad en días	Cilindro Patrón N/mm² (P)	Cilindro Tipo S N/mm² (S)	Factor de relación (S/P)
7	13,80	20,81	1,51
14	20,70	27,58	1,33
28	34,59	34,59	1,00

Tabla XIII Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros patrón y cilindros tipo A, para 34.50 N/mm² (5000 psi).

Edad en días	Cilindro Patrón N/mm² (P)	Cilindro Tipo A N/mm² (A)	Factor de relación (A/P)
7	13,80	7,20	0,52
14	20,70	10,35	0,50
28	34,59	16,90	0,49

Tabla XIV Comparación de resistencias a la compresión encontrando un factor de relación entre cilindros tipo S y cilindros tipo A, para 34.50 N/mm² (5000 psi).

Edad en días	Cilindro Tipo S N/mm² (S)	Cilindro Tipo A N/mm² (A)	Factor de relación (S/A)
7	20,81	7,20	2,89
14	27,58	10,35	2,66
28	34,59	16,90	2,05

Figura 18 Gráfica de factor de relación S/P para diferentes edades encontrado entre los cilindros tipo S y los cilindros patrón.

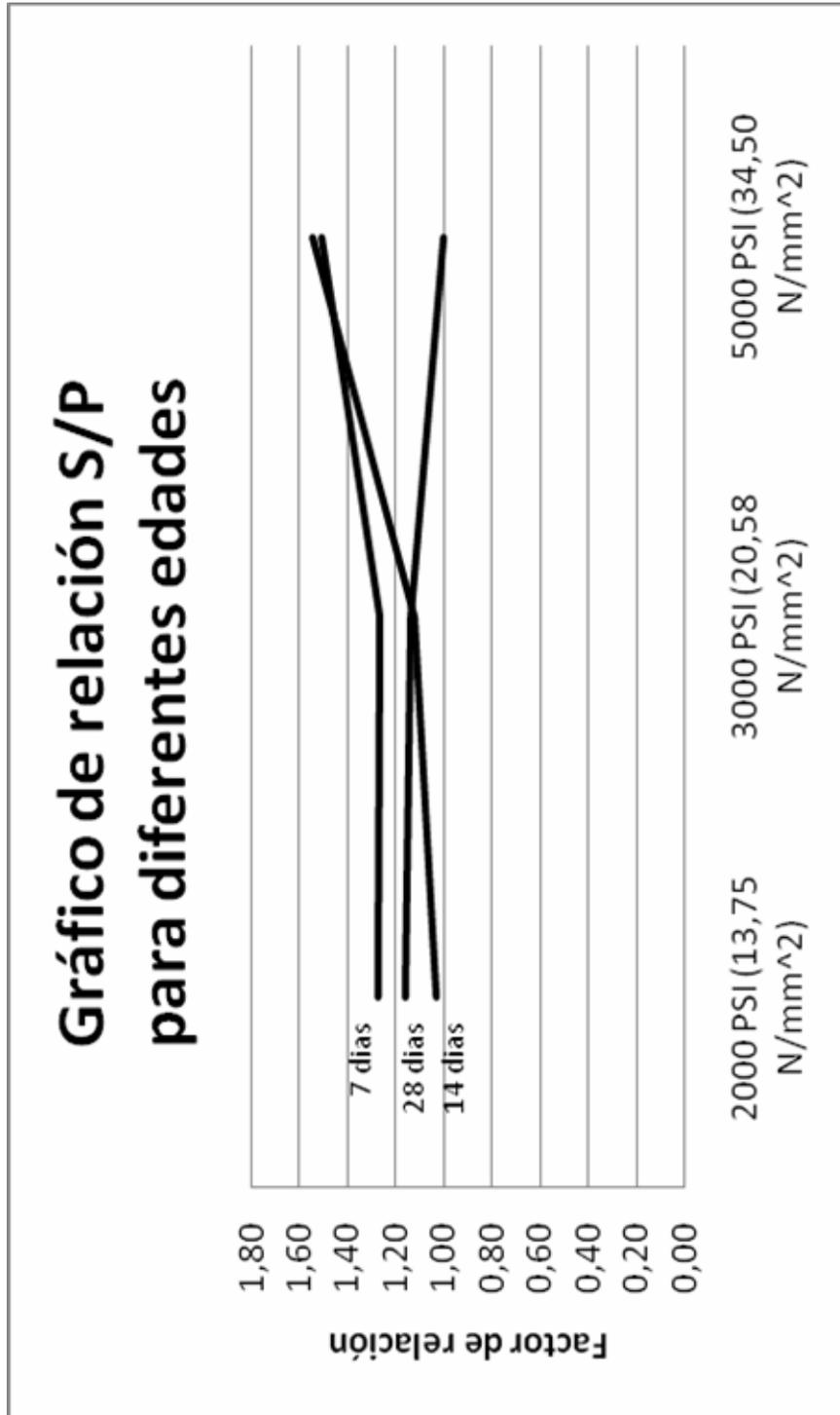


Figura 19 Gráfica de factor de relación A/P para diferentes edades encontrado entre los cilindros tipo A y los cilindros patrón.

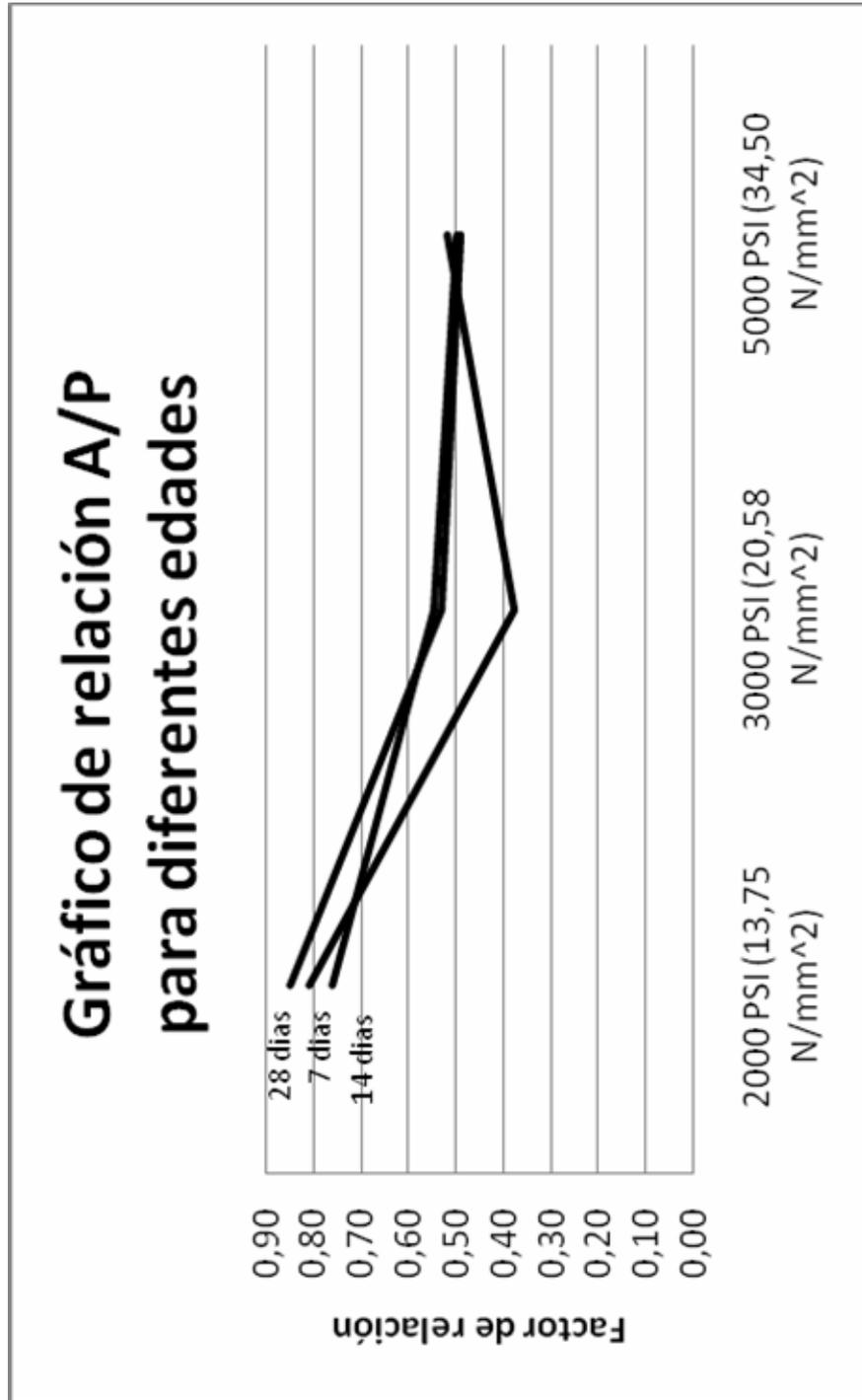
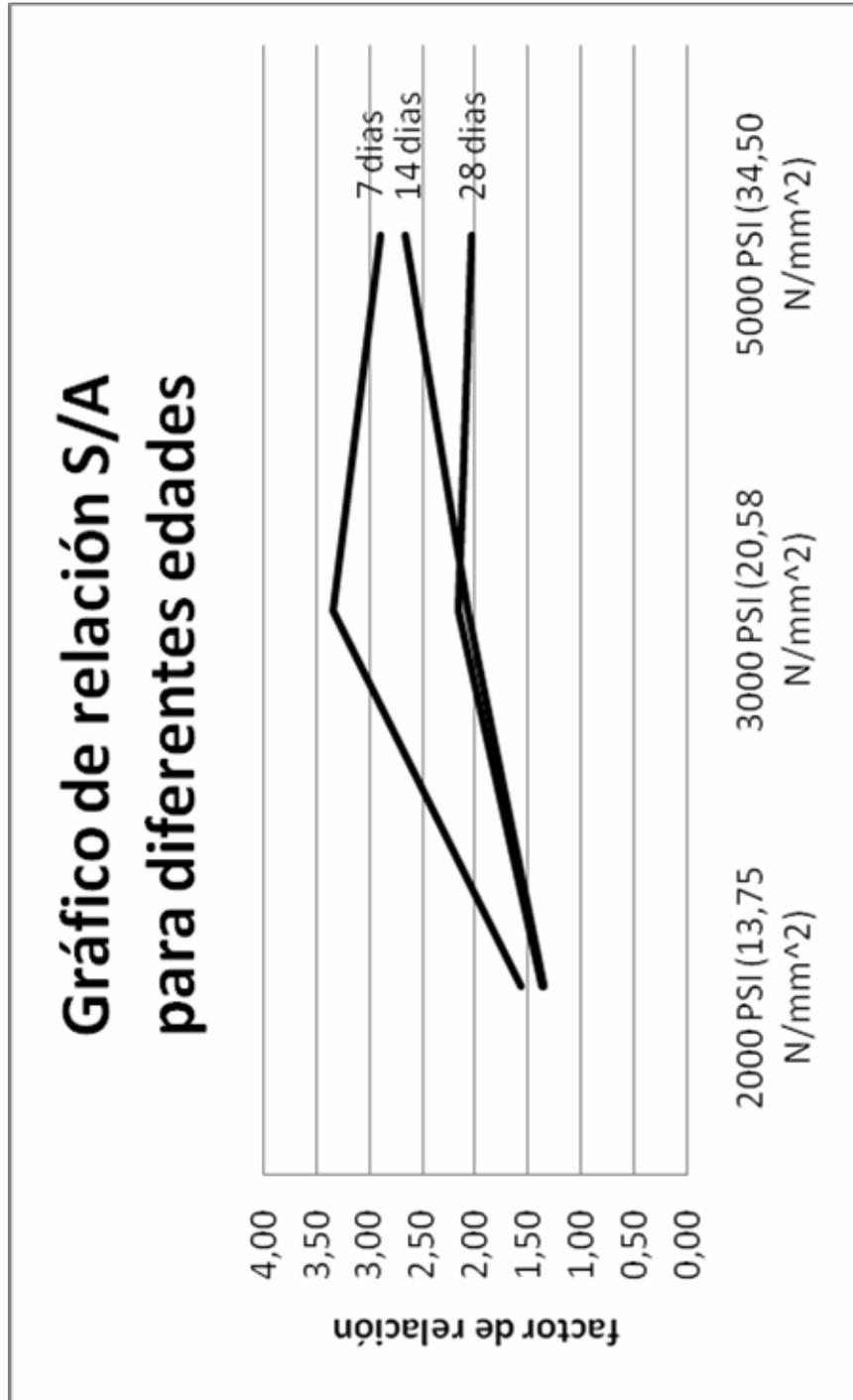


Figura 20 Gráfica de factor de relación S/A para diferentes edades encontrado entre los cilindros tipo S y los cilindros A.



6.3 Comparación del costo-beneficio de los adhesivos

El análisis costo/beneficio es el proceso que coloca cifras de los diferentes costos y beneficios de una actividad. Al utilizarlo podemos estimar el impacto financiero acumulado de lo que queremos lograr ya que un proyecto se considera atractivo cuando los beneficios desde su implementación exceden los costos asociados.

Se debe utilizar el análisis costo/beneficio al comparar los costos y beneficios de las decisiones. Un análisis costo/beneficio por si solo puede no ser una guía clara para tomar una buena decisión existen otros puntos que deben tomarse en cuenta

Existen actividades que generan una variedad de beneficios, que es imposible valorarlos siempre en términos monetarios. Lo que es importante es que tanto los beneficios y los costos estén representados por unidades de medida que tengan el mayor significado para aquellos que tienen a su cargo la evaluación de proyectos.

Tabla XV Comparación de resultados del análisis Costo – Beneficio entre los dos tipos de adhesivos

ADHESIVO	COSTO Q.	PRESENTACIÓN POR UNIDAD	CONSUMO l/mm²	RENDIMIENTO l/mm²
TIPO S	130,00	kg	0.01	0,89
TIPO A	90,00	gal	0.025	0,68

CONCLUSIONES

1. Unir dos elementos de concreto es muy común de apreciar actualmente en el país, para ello se cuenta en el mercado con una gama bastante amplia de adhesivos para pegar concretos, unos que son para elementos estructurales y otros no, el uso de estos repercute en el ahorro de tiempo, mano de obra y el factor económico.
2. Con la utilización de adhesivos, el constructor cuenta con una buena opción para enfrentarse a los problemas de uniones, ya que hace unos años era un problema serio debido al desconocimiento de este tipo de sistemas.
3. Según los resultados obtenidos en los análisis, se puede apreciar un incremento en relación a la resistencia entre el adhesivo Tipo S y el adhesivo tipo A, esto es un indicativo de que la aplicación del adhesivo Tipo S es el más recomendable para su uso en la construcción, no sólo por la adecuada adherencia y resistencia, sino también desde un aspecto económico.
4. En la relación costo-beneficio entre los dos adhesivos evaluados, el adhesivo tipo A es más económico que el adhesivo tipo S. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos en las pruebas se debe mencionar que el aspecto económico se vuelve irrelevante debido a la caída de adherencia sufrida por la unión, esto implica que se puede ver

comprometida la integridad de la estructura, llegando inclusive en el peor de los casos, al colapso de la misma.

5. La adherencia entre el concreto nuevo con el concreto viejo fue más efectiva utilizando el adhesivo tipo S, el cual incrementó la resistencia de las probetas, esto se comprobó por el tipo de falla presentado por las probetas en las cuales se aplicó este tipo de adhesivo, esta falla es llamada CONO Y CIZA.
6. El comportamiento de la probeta en la que se aplicó el adhesivo tipo A, fue muy diferente al otro adhesivo, ya que se pudo observar que la adhesión entre el concreto nuevo y el concreto viejo fue mucho menor al obtenido en la otra prueba; la falla obtenida con este adhesivo es la llamada CIZA, la cual se presenta debido a la falta de adherencia entre los dos tipos de concreto, esto se puede apreciar más claramente en las tablas VI a XIV.
7. Cuando el factor de relación es inferior a uno como el caso de la tabla VII, X y XIII, significa que la resistencia de las probetas utilizadas es inferior al cilindro patrón de referencia.
8. Cuando el factor de relación es superior a uno como el caso de la tabla VI, VIII, IX, XI, XII y XIV, significa que la resistencia de las probetas utilizadas es superior al cilindro patrón de referencia.

RECOMENDACIONES

1. Observar las indicaciones de estos productos, para su manipulación, ya que esto puede ser perjudicial para la persona que lo esté aplicando.
2. Si bien en el mercado existen adhesivos económicos, debe elegirse el adhesivo de mejor calidad para prevenir futuros problemas estructurales; por lo tanto, para una mejor calidad de adhesión se debe optar por un adhesivo tipo S sobre uno tipo A.
3. Se recomienda utilizar el adhesivo tipo A para adhesiones donde no se involucre un sistema estructural importante: pestañas, cenefas, cornisas, etc.
4. Se recomienda utilizar el adhesivo tipo S, según el análisis que se ha efectuado en el presente trabajo de graduación, el más adecuado para hacer adhesiones entre concreto viejo y concreto nuevo en elementos estructurales importantes: columnas, vigas, losas, etc.
5. Se recomienda que para usos estructurales en cada caso se realicen ensayos de laboratorio para corroborar las características de los productos, indicados por los proveedores.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society Testing Materials. Manual de normas, (Volumen 4.02), Estados Unidos, 1999
2. García Estrada, Angel Adolfo, “Adhesivos usados en la construcción”, Julio 1980
3. Manual de Tecnología del Concreto (Tomo IV), Mexico (U. N. A. M.), Limusa 2002
4. Selladores y Adhesivos para Construcción, J. P. Cook, Limusa 1999