

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION

En Bolivia, específicamente en el área de la construcción, a menudo pueden encontrarse obras en las cuales se necesita que exista una adecuada adherencia entre un hormigón viejo y hormigón nuevo, para que así cumplan los requerimientos de diseño.

El motivo del presente trabajo, es el de realizar pruebas de laboratorio, para determinar las características de dos tipos de adhesivos, utilizados para la unión de hormigón nuevo con hormigón viejo, realizando comparaciones entre los mismos para obtener resultados, tanto de resistencia como de costo-beneficio, de los adhesivos en cuestión.

Dichas pruebas se realizarán según lineamientos de la norma ASTM C-881 (Especificaciones para sistemas de adherencia para hormigón a base de resinas epóxicas). 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 hormigón). Los adhesivos epoxicos a evaluar son de similares características técnicas para así saber o determinar cuál de ellos es más adecuado dependiendo de las circunstancias de la reparación o diseño de la unión.

1.2. 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 más 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 Éufrates, 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 hormigón. 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. 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.

1.3. JUSTIFICACION.

En nuestro país Bolivia, específicamente en el área de la construcción, se puede observar que diferentes tipos de obras civiles se paralizan por varios motivos como ser: recorte de presupuestos y falta de desembolsos a diferentes instituciones públicas y empresas privadas, ocasionan la paralización parcial o indefinida de dicha obra, en los proyectos de gran envergadura cuando se los ejecuta por etapas o fases, necesariamente cuando se procede a reanudar la construcción de dichas obras se tropieza con el problema de adherencia entre hormigón viejo y hormigón nuevo, de aquí la necesidad de la realización de este estudio ya que si no se toma en cuenta este problema, puede ocasionar deficiencias, por la mala adherencia entre estos hormigones, que para dar solución a este problema, subirían el costo de la obra y vendrían a ser un factor antieconómico para el que la construye. Pero sería un factor de seguridad a favor de la estructura que repercutiría en la vida útil de la obra o estructura en cuestión.

Dicho de otra manera se puede decir que la aplicación de estos adhesivos que aumentan el costo de cualquiera que sea el proyecto, pero se obtendría un gran beneficio al aplicarlas si estas cumplieran con su objetivo.

En nuestro país el uso de adhesivos epoxicos es muy limitado, ya que no estamos acostumbrados a utilizarlos, también mencionar que en nuestro país solo existe una sola

importadora autorizada para estos productos de ahí que la investigación se la realizo con dos adhesivos epoxicos de la misma industria, porque la idea es utilizar productos que se encuentran de oferta en el mercado de la construcción.

1.4. ALCANCE.

En el presente trabajo de investigación, se pretende un desarrollo adecuado de cada capítulo, limitándonos a cada uno de estos de acuerdo a las necesidades básicas de cada uno de ellos que tengan en el desarrollo de los mismos.

Se debe orientar el presente trabajo de investigación, para lo cual es necesario tener conocimiento de los adhesivos epoxicos y su clasificación, como así también tener un amplio conocimiento en el proceso de elaboración del hormigón.

Los adhesivos epoxicos, sikadur-32gel y colmafix-32 fueron adquiridos en el mercado nacional, para su posterior utilización en la unión de hormigón viejo con hormigón nuevo.

Para la elaboración del hormigón se adopta dos tipos de dosificaciones para alcanzar las resistencias $f_{ck}(1)$ y $f_{ck}(2)$ respectivas para cada una de estas.

El cemento que se utilizo en la dosificación y la elaboración de las probetas es el cemento Pórtland IP-30 sin adiciones.

La extracción de los agregados grueso y fino para ambos hormigones se la realizo del banco de materiales de la cuenca del rio Santa Ana.

El agua que se utilizo en la elaboración de las probetas fue extraída de la red de distribución que suministra a los laboratorios de la U.A.J.M.S. de la ciudad de Tarija.

Los moldes de las probetas se las realizo de tubos de PVC de tres pulgadas de diámetro, tomando en consideración las dimensiones que exige la norma para la forma y tamaño.

El ensayo se lo realizo sobre hormigón viejo de 28 días de edad al que se le aplicara el adhesivo epoxico, luego proceder al hormigonado y completar la probeta.

Este estudio se lo realizo para dos tipos de hormigón; para el primer tipo de hormigón con un $f_{ck}(1)$, se realizo 24 probetas adheridas con sikadur 32-gel y 24 probetas con colmafix-

32, para el segundo tipo de hormigón con un fck(2), se elaboro igual cantidad, los cuales se los ensayo a 7, 14 y 28 días para así tener un registro de la evolución del hormigón.

Los resultados serán comparados con probetas patrón, las cuales también fueron elaboradas en un numero de 24 probetas para cada tipo de hormigón con un fck (1) y un fck (2) ya antes mencionado, dando un total de 144 probetas elaboradas, las cuales nos proporcionan una referencia directa del comportamiento que se espera que mantengan las probetas adheridas, se evaluó la adherencia entre hormigón viejo con hormigón nuevo mediante graficas que relacionan las probetas patrón con los especímenes unidos con el adhesivo epoxico y así determinar la relación costo-beneficio que brinda este tipo de uniones.

1.5. HIPOTESIS.

La adherencia entre el de hormigón viejo con hormigón nuevo aplicando adhesivos epoxicos, nos permitirá garantizar una unión monolítica entre estos hormigones que beneficiara al constructor y la obra donde se de esta aplicación.

Para la verificación de la cuantificación de adherencia que proporcionan los adhesivos epoxicos a estos hormigones se realizaron ensayos comparativos entre hormigón simple y hormigón unido con los adhesivos antes mencionados, así determinar la relación que existe entre estos.

1.6. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

Es común ver en una estructura la mala adherencia que existe entre la unión de un hormigón viejo con un hormigón nuevo, debido a que en nuestro país no es común utilizar adhesivos por el elevado costo que implica su uso, ya que esto influye directamente en el costo del proyecto y la no factibilidad del mismo.

Esta problemática de la adherencia entre hormigón viejo y hormigón nuevo que se presenta en los proyectos de ingeniería civil, nos llevo a realizar los ensayos para verificar la adherencia que brindan dichos adhesivos que se utilizo en la elaboración de especímenes cilíndricos para su posterior evaluación.

1.7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.7.1. PROBLEMA

Dar continuidad monolítica a la unión entre hormigón viejo con hormigón nuevo por medio de adhesivos epoxicos.

1.7.2. OBJETO

El objeto en esta investigación es analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión de los especímenes unidos con los adhesivos epoxicos.

1.7.3. CAMPO DE ACCION.

La investigación que se realizo, y los resultados obtenidos, podrán dar soluciones a múltiples problemas de obras en construcción, en reparación y mantenimiento de estructuras y donde exista el problema de adherencia entre hormigón viejo y hormigón nuevo.

1.8. OBJETIVOS.

1.8.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la adherencia de hormigón viejo y hormigón nuevo, utilizando dos tipos de adhesivos, por medio del ensayo a compresión de probetas cilíndricas de hormigón.

1.8.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Aplicar la norma ASTM C-881 (Especificaciones para sistemas de adherencia para hormigón a base de resinas epóxicas), para determinar la caracterización de los diferentes adhesivos evaluados apoyados en las especificaciones que manda la Norma ASTM C-882 (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epoxicos a base de resinas usados con hormigón).

- Obtener resultados de resistencia a compresión al utilizar ambos adhesivos (Sikadur-32 Gel y Colmafix-32) sobre un hormigón con un fck(1) y con un fck(2).
- Analizar por medio de gráficos el comportamiento de adhesión entre hormigón antiguo y hormigón nuevo.

- Obtener resultados de costo-beneficio de los adhesivos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. FUNDAMENTO TEORICO.

2.2. INTRODUCCION.

Los adhesivos se conocen desde tiempos inmemoriales y han sido empleados extensamente a lo largo de la historia hasta la actualidad. Existen ejemplos naturales de adhesión, como es el caso de las telas de araña, de los panales de abejas o de los nidos de pájaros. Se han hallado vestigios del uso de la sangre animal como adhesivo durante la Prehistoria. Los babilonios empleaban cementos bituminosos hacia el 4000 A.C, mientras que los egipcios preparaban adhesivos mediante la cocción de huesos de animales para la adhesión de láminas de madera hacia el 1800 A.C.

El sector de los adhesivos está en pleno crecimiento y su desarrollo será muy importante en los próximos años, dado que ofrece rendimientos similares y en ocasiones superiores a los de otras soluciones para el ensamblaje y el sellado con ventajas en cuanto a ahorro de costes.

2.3. DEFINICION DE ADHESIVO.

Se puede definir **adhesivo** como aquella sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación. Denominamos **sustratos** o **adherentes** a los materiales que pretendemos unir por mediación del adhesivo. El conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interface adhesivo/adherente recibe el nombre de **adhesión**.

2.4. TIPOS DE ADHESIVOS.

Existen dos tipos de adhesivos los cuales son:

- Látex
- Epoxicos

2.4.1. ADHESIVOS LATEX.

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

- Estructurales
- No Estructurales

2.4.2. 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 y colocación de anclajes, y en elementos de hormigón 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 hormigón a base de resinas epóxicas). Estos materiales pegarán superficies mojadas o húmedas. Con ellos es posible adherir metal, piedra y/o madera con el hormigón.

2.4.3. PUENTES DE ADHERENCIA.

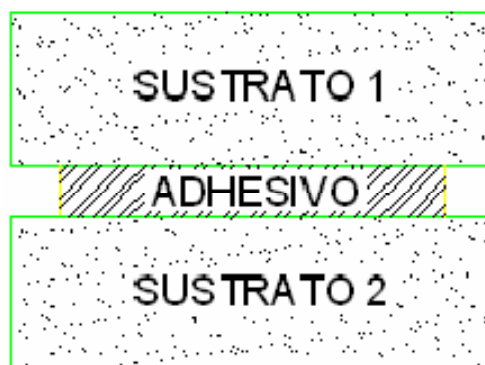
Dentro de estos podemos encontrar los epoxicos llamados puentes de adherencia, esta es una de las líneas más importantes en las que se puede encontrar el adhesivo epoxico. El principio del producto consiste en darle continuidad al proceso de vaciado de una obra en construcción, porque este no se puede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

2.4.4. 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 hormigones hasta rellenos en general.

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

Figura N° 2.4.1. Esquema básico de la unión adhesiva



Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 4.

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 interface 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.

2.4.5. 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 pre polimerizados.

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 termo fusibles 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.

2.4.6. 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:

- o 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.

- 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 interfaces 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 pre-polimerizados.

- 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 interface 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:

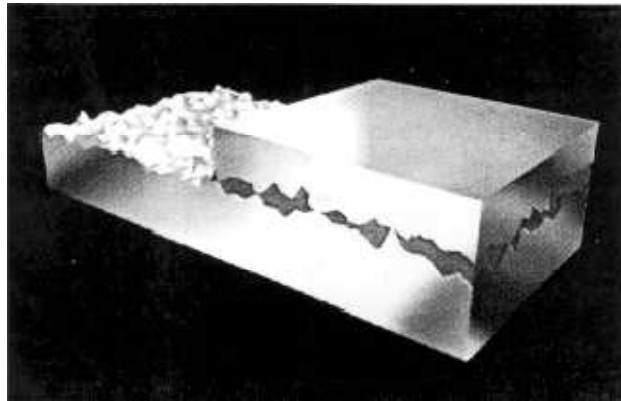
- a) Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial.

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

2.4.7. 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 N° 2.4.2. Modelo de adhesión mecánica

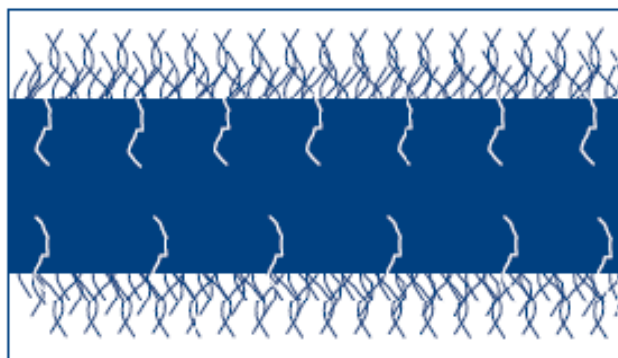


Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 9.

2.4.8. 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 interface pura sin espesor por la noción de interface 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 N° 2.4.3. Teoría de la difusión



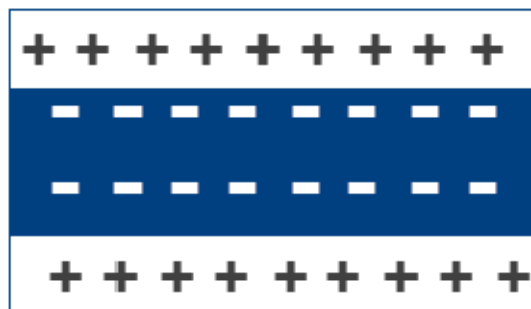
Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 9.

2.4.9. 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 particulares¹.

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 N° 2.4.4. Teoría eléctrica



Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 10.

2.4.10. 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 interface son suficientes para garantizar una adhesión del mismo orden de

¹ Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 10.

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.

2.4.11. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE LAS UNIONES ADHESIVAS.

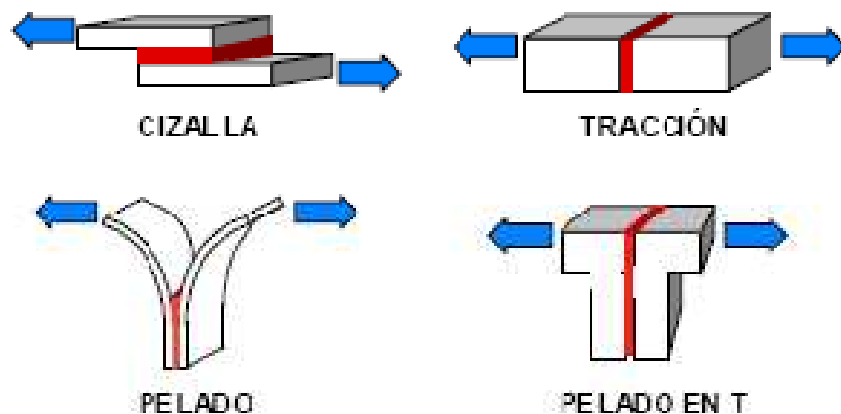
Los tecnólogos de la adhesión diseñan normalmente las formulaciones adhesivas para lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas. De este modo, conociendo las propiedades mecánicas del adhesivo se puede evaluar y, por tanto predecir, el comportamiento mecánico de una unión 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 emplear². 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 N° 2.4.5. Requerimientos en uniones adhesivas



Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 12.

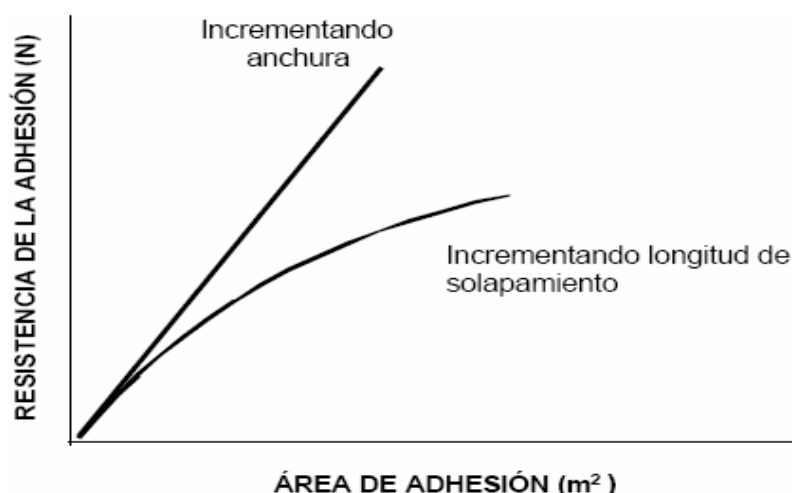
Para conseguir uniones adheridas correctas hay que plantear durante la etapa de diseño un trazado que evite en lo posible esfuerzos que no sean de tracción o de cortadura en las uniones adhesivas. Un paso extremadamente importante durante el proceso de diseño de la junta adhesiva es establecer los requisitos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

² Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 12.

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.

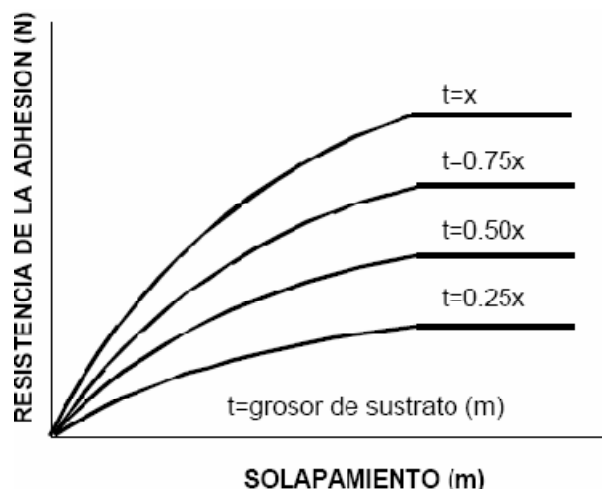
Grafico N° 2.4.1. Variación de la resistencia de la unión adhesiva incrementando anchura y longitud de solapamiento.



Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 13.

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.

Grafico N° 2.4.2. Variación de la resistencia de la unión adhesiva frente al solapamiento para diferentes grosores.



Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 14.

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 fabricante³. Los valores que se incluyen corresponden a ensayos normalizados. Dado el

³ Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 15.

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.

2.4.12. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

La adhesión es un fenómeno de superficie. El espesor dentro del cual tienen lugar las interacciones entre adhesivo y sustrato (interface 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 espray.

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 interface 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.

2.4.13. 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 mono componentes 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:

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

Policondensación: por condensación de moléculas sencillas en la reacción de monómeros di funcionales 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 poli adiciones son reacciones en cadena y tienen velocidades de reacción elevadas. Por el contrario, las poli condensaciones 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 poli adición. 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 poli condensaciones. 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 poli adición 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.

2.4.14. 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.

2.4.15. 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 mono componentes 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 calor⁴. 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.

2.4.16. 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

⁴ Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 25.

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.

2.4.17. 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.

2.4.18. 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 foto iniciador. Cuando el foto iniciador 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 la característica física 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 27 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.

2.4.19. 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 hormigón viejo con hormigón nuevo).

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

2.4.19.1. 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.

2.4.19.2. 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.

2.4.19.3. 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.

2.5. FUNCIONALIDAD EN UNION DE HORMIGON VIEJO CON HORMIGON NUEVO.

Existe una funcionalidad entre la unión de los hormigones 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 visco elásticas 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.

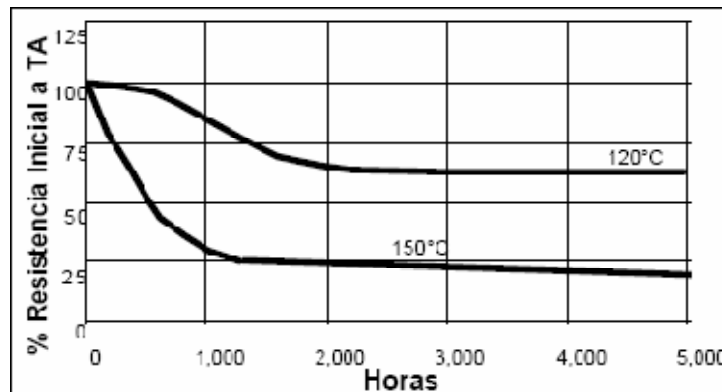
Se entiende por **resistencia al calor** la resistencia que presenta el adhesivo frente a altas temperaturas puntuales.

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.

Grafico N°2.5.3. Curva de envejecimiento a la temperatura de un adhesivo anaeróbico.



Fuente: Tecnología de la adhesión, Mario Madrid, (2ª edición, ed. LOCTITE, ESPAÑA año de publicación 1997), pág. 52.

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 interface 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 interface 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 interface vidrio-resina en presencia de agua. El desplazamiento físico de la resina de la interface 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 interface 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 interface. 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 interface 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.

2.6. CONSECUENCIAS.

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

2.6.1. 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 esté utilizando no funciona correctamente como un sellante, esto perjudicaría al elemento estructural al que se le aplique.

2.6.2. 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.

2.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

2.7.1. 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 (epoxinitrilo).

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).

2.7.2. 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 hormigón. 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.

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.

2.8. MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGON.

2.8.1. CEMENTO.

Un cemento se define como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material resistente y durable.

Sin embargo esta definición incluye gran cantidad de materiales cementantes y los que realmente importan desde el punto de vista de la construcción son los cementos hidráulicos; llamados así porque tienen la peculiaridad de desarrollar sus propiedades (fraguado y endurecimiento) cuando se encuentran en presencia de agua, en virtud a que experimentan una reacción química con ella. El cemento constituye entre el 7 y el 15% de volumen total de hormigón; es el componente activo de la mezcla y por tanto influye en todas sus características. De los componentes del hormigón, el cemento hidráulico es el más costoso por unidad de peso, sin embargo, comparado con otros materiales manufacturados, es poco costoso si se tiene en cuenta la alta tecnología utilizada en su elaboración y el elevado grado de control que requiere su elaboración. Esencialmente es un clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contiene cal, alúmina, hierro y sílice en proporciones determinadas.

2.8.2. AGREGADOS.

Se denomina agregados a los materiales granulares inertes, que se forman de la desintegración de rocas, también obtenido artificialmente de la trituración de rocas, estos a

su vez ocupan las tres cuartas partes de volumen de el hormigón, formando un esqueleto granular.

2.8.3. AGREGADO GRUESO.

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón.

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 (El uso de la norma está sujeto de acuerdo al país en el cual se aplique la misma ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país). Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la planta de hormigón, no deberán superar los siguientes límites:

Cuadro N°2.8.1. Porcentajes de sustancias dañinas presentes en el agregado grueso

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	ASTM-C 117	máx. 0.5
Materiales ligeros	ASTM-C 123	máx. 1
Grumos de arcilla	ASTM-C 142	máx. 0.5
Otras sustancias dañinas	-	máx. 1
Pérdida por intemperismo	ASTM-C 88	máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM-C 131 y C 535	máx. 40

Fuente: Manual de normas de la ASTM-C, año de publicación 2003.

2.8.4. AGREGADO FINO.

La arena, agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.

El árido fino o arena constituye de hecho la mayor parte del porcentaje en peso del hormigón. Dicho porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el hormigón fraguado y endurecido. La adecuación de un árido para la fabricación de hormigón debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas.

Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño. El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente.

La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables. En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados en porcentaje del peso, así también el agregado fino debe estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar tener la granulometría siguiente:

Cuadro N°2.8.2. Porcentajes de sustancias dañinas presentes en el agregado fino

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz n° 200	ASTM-C 17	3%
Materiales ligeros	ASTM-C 123	1%
Grumos de arcilla	ASTM-C 142	1%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	ASTM-C 88	10%

Fuente: Manual de normas de la ASTM-C, año de publicación 2003.

**Cuadro N°2.8.3. Especificaciones ASTM-C33
de gradación que debe cumplir el agregado
fino**

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO)		
3/8"	9.5 mm	100		
N° 4	4.75 mm	95	a	100
N° 8	2.36 mm	80	a	100
N° 16	1.18 mm	50	a	85
N° 30	600 µm	25	a	60
N° 50	300 µm	10	a	30
N° 100	150 µm	2	a	10

Fuente: Manual de normas de la ASTM-C, año de publicación 2003.

2.8.5. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

Como ya se sabe, las propiedades de los agregados, tienen una gran importancia en el hormigón por el volumen que ocupan en éste, por lo cual se menciona a continuación algunas de sus propiedades más importantes:

○ **Resistencia:**

Se denomina resistencia a la causa que se opone a la acción de una fuerza; por su propia naturaleza, la resistencia del hormigón no puede ser mayor a la de los agregados, de tal manera que cuando el agregado falla antes que la pasta, la resistencia del agregado toma importancia⁵. La textura, estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia de éste, la cual disminuye si sus granos constituyentes no están bien cementados unos a otros, o si están compuestos de partículas inherentes débiles.

○ **Densidad:**

La densidad de los agregados depende tanto de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo.

⁵ Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), chile, pág.130.

- **Peso específico:**

El peso específico también se expresa como densidad, y su importancia se da cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite. Además es un indicador de calidad, cuando se tienen valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento.

- **Dureza:**

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión, abrasión, o en general, el desgaste; la dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Su determinación se realiza sometiendo al agregado a un proceso de desgaste por abrasión.

- **Granulometría:**

Se define como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas de agregado. Ello se logra separando el material por procedimiento mecánico, empleando tamices de aberturas cuadradas determinadas.

- **Propiedades térmicas:**

El coeficiente de expansión térmica, el calor específico y la conductividad térmica, son tres propiedades del agregado que, en determinados casos pueden ser importantes para establecer la calidad del mismo en relación con el comportamiento del hormigón.

Como por ejemplo: el calor específico y la conductividad térmica son importantes en construcciones masivas en las que es necesario un cuidadoso control de la elevación de la temperatura.

Existen otras propiedades que influyen en menor o igual manera que las ya mencionadas, que sólo serán nombradas, como: el peso unitario, la porosidad, el módulo de elasticidad, la textura superficial, la humedad y absorción, el esponjamiento, el módulo de fineza, etc⁶.

⁶ Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), Chile, pág.132.

2.8.6. AGUA.

2.8.7. El agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del hormigón, o sobre los elementos metálicos embebidos en este.

Si se tuviera dudas de la calidad del agua a emplearse en la preparación del hormigón, será necesario realizar un análisis químico de ésta, para comparar los resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del hormigón los mismos que se indican a continuación:

Cuadro N°2.8.4. Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizar en la preparación del hormigón.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de Magnesio	150 ppm.
Sales Solubles	500 ppm.
pH	Mayor de 7
Sólidos en Suspensión	1500 ppm.
Materia Orgánica	10 ppm.

Fuente: Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), Chile, pág.125.

2.8.8. RESISTENCIA A COMPRESION.

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/mm²) 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 hormigón 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 hormigón a compresión es una propiedad mecánica frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de cualquier tipo de estructuras. El hormigón de uso

generalizado tiene capacidad a la compresión entre 21 N/mm² y 35 N/mm², un hormigón de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de 40 N/mm², resistencias de hasta 137 N/mm² 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 hormigón 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 hormigones de peso normal, el módulo de elasticidad se encuentra entre 13778.80 N/mm² y 41356 N/mm². 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 hormigón con el acero. Cuando se requiera de valores más precisos para el hormigón 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 hormigón con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el hormigón sin aire incluido. La menor relación agua – cemento que es posible lograr en un hormigón con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del hormigón con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

2.8.9. ADHERENCIA ENTRE HORMIGONES.

Generalmente, se emplean capas adherentes para unir el hormigón o mortero fresco al hormigón 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 hormigón. 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 hormigón 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 hormigón a base de resinas epóxicas), se dan tipos y grados de epoxis para varios usos.

2.8.10. CARACTERISTICAS DEL HORMIGON A EVALUAR.

El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesto de cemento Portland 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 hormigón 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)

2.8.11. PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON.

El endurecimiento del hormigón 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 hormigones 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, hormigonados y curados de acuerdo con la especificación ASTM C-39-86 (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de hormigón). Cuando se efectúa la ruptura del cilindro a los 28 días de hormigonado, la fatiga correspondiente a esa ruptura se representa por f_{ck} (i) y constituye el valor base al cual se refieren las especificaciones.

Proporciones en el hormigón

Las proporciones de los materiales del hormigón 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 hormigón. 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 hormigón más uniforme, con reducción en el consumo de cemento. Una mezcla típica de hormigón en el país tiene una resistencia de 210 kgf/cm² (3000 psi), o 21 MPa. Siendo la compresión la propiedad más característica e importante del hormigón, las demás propiedades mecánicas se evalúan con referencia a ella.

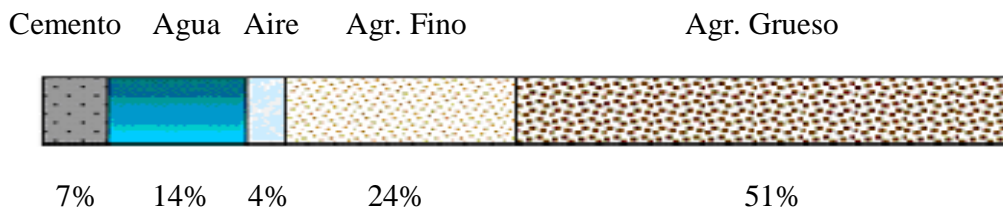
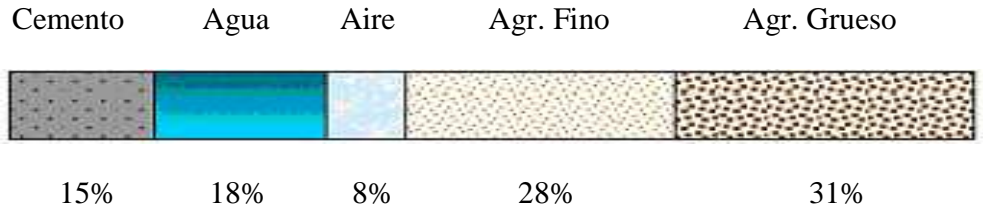
La resistencia a compresión (f_{ck}) se mide usualmente mediante el ensayo a compresión en cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y con 28 días de edad. Últimamente se ha ido popularizando la medida de la compresión con cilindros de menor diámetro 100 y 75 mm, con las ventajas de menor consumo de hormigón 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_{ck}) 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 hormigón, la velocidad de carga, la relación de esbeltez de la muestra (en casos de ensayos sobre núcleos extraídos de hormigones endurecidos es diferente de 2 veces el diámetro, que es la relación de los cilindros estándar, usados para determinar la resistencia del hormigón). Ya se mencionó que el hormigón 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".

2.8.12. DOSIFICACION DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGON.

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).

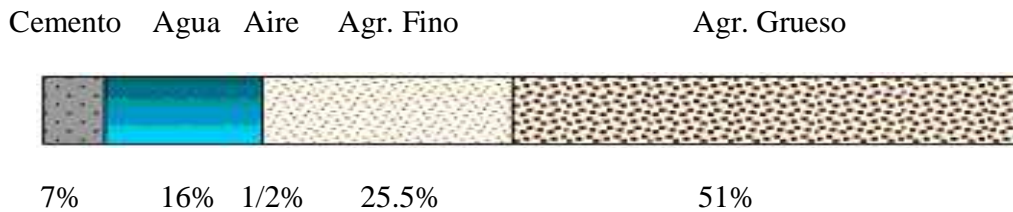
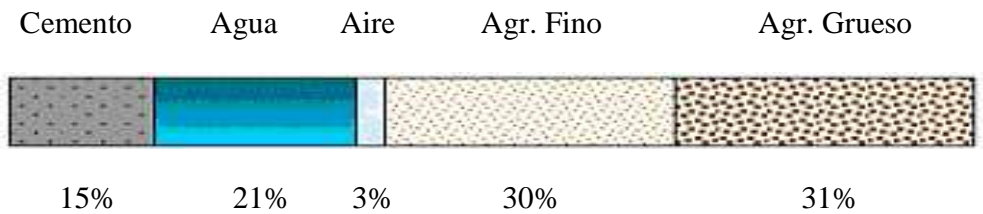
La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25% al 40% del volumen total del hormigón. **La Figura N°2.8.6. y Figura N°2.8.7.** muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre 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 hormigón, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Figura N°2.8.6. Hormigón con aire incluido



Fuente: Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), chile, pág.142.

Figura N°2.8.7. Hormigón sin aire incluido



Fuente: Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), chile, pág.142.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del hormigón, 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 hormigón. 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 hormigón depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un hormigón 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 hormigón endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación se presenta 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 hormigón 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 hormigón como del epoxico.

Las propiedades del hormigón 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 hormigón.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, hormigonado, consolidación, acabado y curado, el hormigón 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.

2.8.13. EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL HORMIGÓN.

Ámbito de aplicación

El efecto de las importantes desviaciones respecto de una temperatura media de hormigón de 20 ° C para el rango de aproximadamente 0 ° C a +80 ° C se trata a continuación.

Los datos para la aplicación, se limita a una temperatura máxima 80 ° C debido a que la información disponible sobre las propiedades del hormigón para $T > 80$ ° C es demasiado complejo para una formulación tipo de código, en particular con respecto a los efectos del tipo de agregados y transitorios o estados de humedad constante. Para las condiciones de estos estudios experimentales, con la composición del hormigón en particular, se recomienda considerar:

Madurez del hormigón

El efecto de Temperaturas elevadas o bajas de la madurez del hormigón puede ser tomado en cuenta, ajustando la edad del hormigón de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t_{T=\sum_{i=1}^n \Delta t_i} * e^{\left[13.65 - \frac{4000}{273 + \frac{T(\Delta t_i)}{T_o}} \right]}$$

Donde:

t_T = Es la edad del hormigón ajustada a la Temperatura, se sustituye t en las ecuaciones correspondientes

Δt_i = Es el número de días en que Temperatura T prevalece

$T(\Delta t_i)$ = Es la temperatura (° C) durante el período de tiempo Δt_i

$T_o = 1$ ° C.

La energía de hidratación para la activación está influenciada por el tipo de cemento y adiciones. La ecuación anterior es válida para el hormigón hecho de cementos portland o que sólo contienen pequeñas cantidades de clinker.

Esta ecuación es bastante importante porque nos permite estimar el tiempo de madurez del hormigón en función de la temperatura donde se están curando las probetas de hormigón, ya que las normas indican que el lugar de conservación normalizado consiste en una cámara que mantiene una humedad relativa igual o superior a 95% y una temperatura de $(20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C})$, de aquí la necesidad de realizar este ajuste del tiempo de madurez del hormigón, porque en nuestro medio no se cuenta con este tipo de cámaras de conservación, de aquí la necesidad de su aplicación.

Aplicando esta ecuación se puede determinar el tiempo de madurez del hormigón en cualquier zona del país.

La razón de aplicar es que las ecuaciones de proyección de resistencias están calibradas para 20°C , y 28 días de edad.

2.8.14. PROYECCION DE LA RESISTENCIA.

La ecuación general para la proyección de resistencias es la que se presenta a continuación:

$$f_{ck}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{ck}(28)$$

Donde:

t = Edad "t" cualquiera del hormigón en días.

$\beta_{cc}(t)$ = Coeficiente de proyección del hormigón a los "t" días.

$f_{ck}(t)$ = Resistencia característica del hormigón a los "t" días.

$f_{ck}(28)$ = Resistencia proyectada del hormigón a los 28 días.

Las ecuaciones de los coeficientes de proyección del hormigón, que más se utiliza en el cálculo son los siguientes:

- **Ecuación del coeficiente de proyección del hormigón de la norma EHE-1998.**

$$\beta_{cc(EHE)}(t) = e^S \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right)$$

Donde:

“t”= Edad cualquiera del hormigón, en días.

$\beta_{cc(EHE)}(t)$ = Coeficiente de proyección del hormigón.

S= Parámetro en función del tipo de cemento.

S=0,20 Para cementos de alta resistencia con endurecimiento rápido.

S=0.25 Para cementos de resistencia normal, con endurecimiento normal.

S=0.38 Para cementos con endurecimiento lento.

- **Ecuación del coeficiente de proyección de la norma ACI-318.**

$$\beta_{cc(ACI)}(t) = \frac{t}{a_1 + a_2 * t}$$

Donde:

“t”= Edad cualquiera del hormigón, en días.

a₁= Parámetro en función del tipo de cemento, para cementos de fraguado normal es 4.

a₂= Parámetro en función del tipo de cemento, para cementos de fraguado normal es 0,85.

Dependiendo de la norma que utilice, se calcula el coeficiente de proyección, para luego despejar de la ecuación general de proyección la resistencia proyectada del hormigón a los 28 días de edad, dando así la siguiente ecuación:

$$f_{ck}(28) = \frac{f_{cm}(t)}{\beta_{cc}(t)}$$

Esta ecuación es aplicable indistintamente por ambas normas, porque la única variable que cambia es el coeficiente de proyección, y poder determinar la resistencia proyectada del hormigón, como así también en forma inversa conociéndose las resistencias características del hormigón a diferentes edades se puede determinar el parámetro del tipo de cemento para verificar la calidad del mismo.

2.9. TIPOS DE ENSAYO Y NORMA.

2.9.1. TIPOS DE ENSAYO.

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

2.9.2. NORMA ASTM C-39-86, STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CILINDRICAL CONCRETE SPECIMENES, (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de hormigón).

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 hormigón), 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 hormigón, debe de apreciarse si la falla es por adherencia o por compresión que en cuyo caso sería lo que se espera de esta evaluación.

2.9.3. NORMAS QUE REGULAN EL ENSAYO.

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

2.9.4. NORMA ASTM C-881-90, ESTÁNDAR SPECIFICATION FOR EPOXI-RESINS BASE BONDING SYSTEMS FOR CONCRETE, (Especificaciones para sistemas de adherencia para hormigón 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 Portland. Este método trata de asegurar el endurecimiento del hormigón viejo con el hormigón recientemente mezclado.

La especificación cubre los dos componentes que se vinculan a una resina epoxica 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.

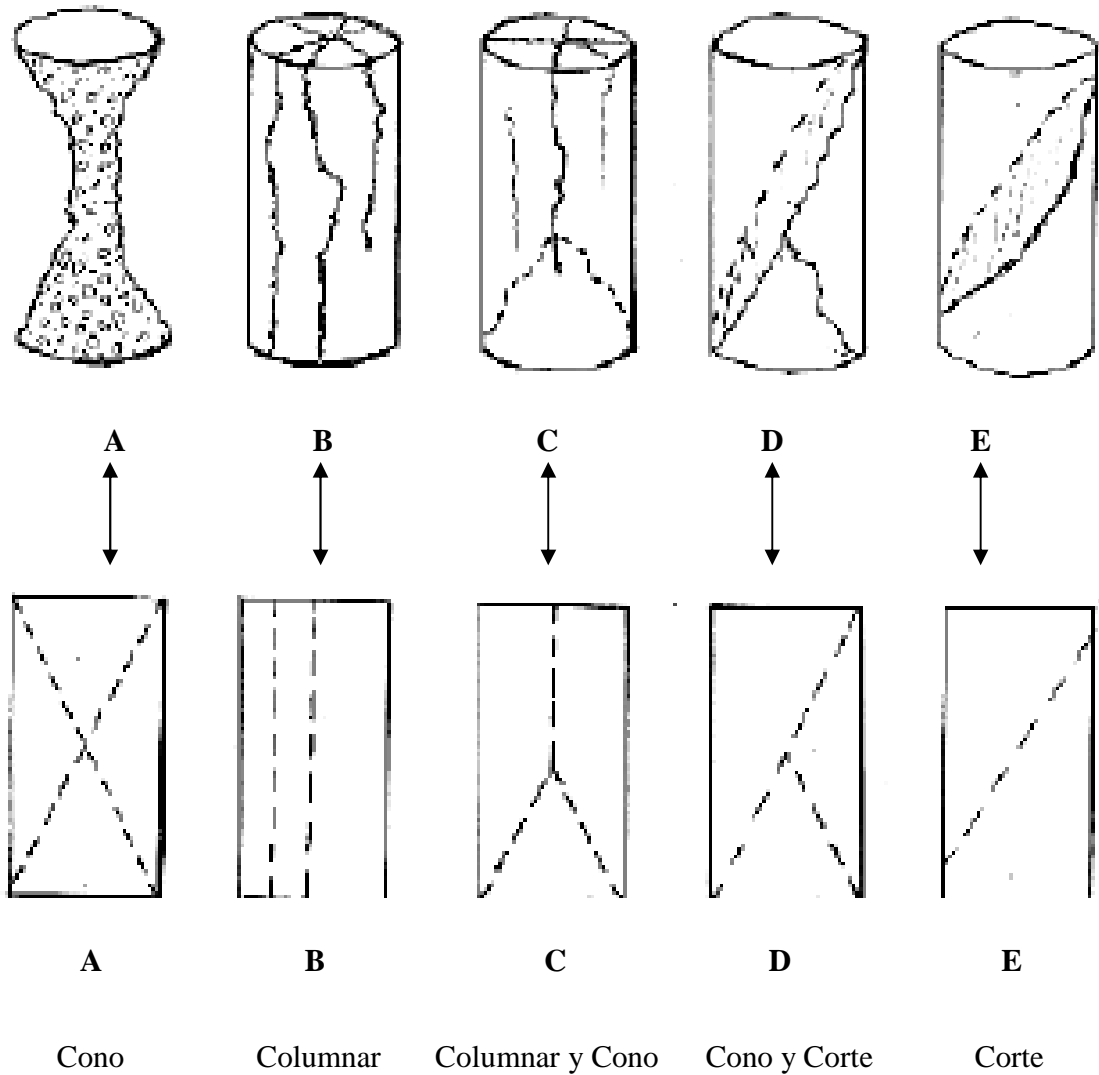
2.9.5. NORMA ASTM C-39-86, STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CILINDRICAL CONCRETE SPECIMENES, (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de hormigón).

Esta norma proporciona los procedimientos y consideraciones que debemos tener a la hora de elaborar el ensayo para evaluar la calidad de hormigones ya endurecidos mediante un método de testeo el cual se realiza aplicando una carga axial y perpendicular al área transversal de un cilindro de hormigón, 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 hormigón que se esté utilizando y saber si es apropiado para la función que está desempeñando dentro de las estructuras.

A continuación se presenta las figuras del tipo de fallas que se presentan en el ensayo de resistencia a compresión:

Figura N°2.9.8. Tipos de falla en probetas de hormigón



Fuente: Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), chile, pág.220.

Nota: estos tipos de falla no facultan para descartar el ensayo. Sólo pueden ayudar a explicar dispersiones entre resultados en probetas gemelas cuando la falla es del tipo B, C, D ó E.

COMPRESIÓN EXCÉNTRICA.

Falla debido a un procedimiento de ensayo incorrecto. Este tipo de falla descarta el resultado obtenido para efectos de cálculo de resistencia promedio y otros.

Figura N°2.9.9. Falla debido a un procedimiento de ensayo incorrecto



Fuente: Tecnología del hormigón, Carlos Videla, (doc. pdf.), Chile, pág.221.

CAPITULO III

ASPECTOS METODOLOGICOS

3.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

La metodología que se emplea en el presente trabajo de investigación fue netamente de tipo experimental, de aquí que existen variables (dependientes e independientes) para ser analizadas.

3.2. OBJETO DEL ESTUDIO.

El objeto del estudio es el de evaluar la adherencia que brindan los adhesivos epoxicos al unir el hormigón viejo con el hormigón nuevo.

3.3. VARIABLES.

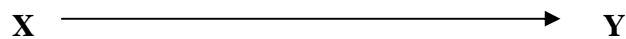
En una investigación experimental se debe identificar una causa o variable independiente (la unión de hormigón viejo con hormigón nuevo aplicando los adhesivos epoxicos antes mencionados) la cual se la manipula y un efecto o variable dependiente (la resistencia a la compresión del hormigón) el cual es comparado y analizado.

Causa (Variable independiente)

Efecto (Variable dependiente)

La unión entre H° viejo con H° nuevo mediante adhesivos epoxicos

La resistencia a la compresión del hormigón



Las variables con que se opera en este trabajo son las siguientes:

Variables Independientes.

- Las resistencias características de los tipos de hormigón, con un fck(1) y fck(2).
- La edad a la que ensayan las probetas de hormigón 7,14 y 28 días.
- Tipo de adhesivos: Adhesivo Tipo I (Sikadur 32-gel) y el adhesivo Tipo II (Colmafix-32).

Variables Dependientes.

- Resistencia a compresión del hormigón unido con adhesivo Tipo I (Sikadur 32-gel) y adhesivo Tipo II (Colmaxif-32)

La relación que existe entre estas variables, es directa ya los resultados de las variables dependientes están en función de las variables independientes.

3.4. HIPOTESIS

La adherencia entre el de hormigón viejo con hormigón nuevo aplicando adhesivos epoxicos, nos permitirá garantizar una unión monolítica entre estos hormigones que beneficiara al constructor y la obra donde se de esta aplicación.

3.5. MUESTRAS Y EQUIPOS.

Para la selección de los materiales a ser utilizados en esta investigación, se tomo unos adhesivos que tienen similares características en lo que se refiere a resistencia y a su aplicación. Para los materiales granulares se obtuvo unas porciones representativas para realizar el estudio de cada una de ellas y así poder obtener resultados confiables. Para la elaboración del hormigón se sigue el siguiente procedimiento:

- **Adhesivos.**

Los adhesivos epoxicos, con los que se realizo los ensayos para su posterior evaluación, son los siguientes: Sikadur-32 Gel y Colmaxif-32, se escogió estos dos adhesivos ya que presentan especificaciones técnicas similares y por ser de fácil obtención en el país, ya que es reducida la importación de este tipo de adhesivos.

Estos adhesivos ya llegan predosificados en presentaciones de juegos de 1 kg. y 5 kg. Esto quiere decir que llegan en dos componentes, un componente A y un componente B, que mezclados en proporciones de A: B =2:1 (en peso), y mezclados de 3 a 5 minutos se debe obtener una mezcla homogénea de color gris, para su aplicación en el hormigón endurecido. Mencionar que a los adhesivos se los denomino adhesivo Tipo I y adhesivo Tipo II respectivamente, para no mencionar los nombres comerciales.

○ **Agregados.**

Para el caso del agregado grueso, se tomo muestras del material del banco de materiales que se escogió para realizar el estudio, luego se procedió a realizar el cuarteo en laboratorio, de tal manera que estas representen la condición media del agregado.

La cantidad de la muestra representativa varía con el tamaño máximo del agregado y por tal motivo, para la extracción de las muestras se consideró las siguientes cantidades.

Cuadro N° 3.5.5. Peso mínimo de las muestras

TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULAS EN PULGADAS	PESO MINIMO DE LA MUESTRA EN KILOS
N° 8	10
N°4	10
3/8''	10
1/2''	15
3/4''	25
1''	50
1 1/2''	75
2''	100
2 1/2''	125
3	150
3 1/2''	175

Fuente: Manual para Ingenieros "Ensayos de materiales"

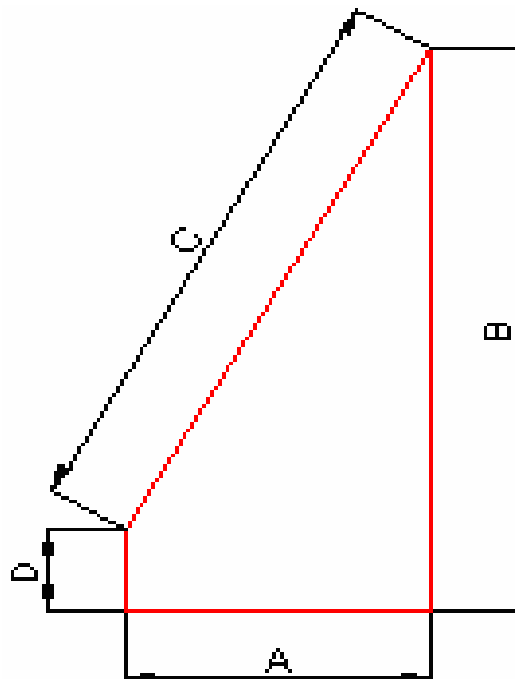
El tamaño máximo del agregado grueso de la cantera que se pretende estudiar tiene un tamaño máximo de 3/4'' en la cual no se presenta mucha variabilidad, se optó por realizar tres veces cada uno de los ensayos requeridos, tomando muestras de 25 Kg. como se indica en la tabla N°5, de la misma manera se prosiguió con la obtención de las muestras del agregado fino las mismas que tuvieron un peso de entre 10 y 15 Kg.

Valga la pena aclarar que la presente investigación tiene por objeto el análisis de la evaluación de la adherencia entre hormigón viejo y hormigón nuevo aplicando adhesivos epoxicos, y analizar el comportamiento de los especímenes por medio de la resistencia a la compresión del hormigón, por esta razón los ensayos realizados en los agregados son los necesarios para el diseño de la mezcla.

○ **Hormigón.**

Los moldes se los hizo utilizando P. V. C. para la elaboración de las probeta, con 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 hormigón), las cuales se observan en la **Figura N°10 y Cuadro N°6** .

Figura N°3.5.10. Dimensiones de la probeta



Fuente: Norma ASTM C-881, (año de publicación 1987).

Cuadro N°3.5.6. Dimensiones de la probeta

DIMENSIONES DE LA PROBETA		
TIPO	PULGADAS	MILIMETROS
A	3.000	76.20
B	5.598	142.20
C	6.000	152.40
D	0.402	10.20

Fuente: Norma ASTM C-881, (año de publicación 1987).

En la presente investigación las muestras de hormigón fueron elaboradas en probetas cilíndricas (de altura igual a dos veces el diámetro), de 3''x 6'' ó 7.5 x 15 cm., de acuerdo a la norma ASTM C 39.

Para la realización de este estudio se tomo en cuenta el número mínimo de la muestra, este número está directamente relacionado con el tipo de distribución para realizar el análisis estadístico. Como se escogió la distribución t student, el tamaño mínimo de la muestra son 2 probetas, se asume 4 probetas como mínimo. Para todo el estudio se realizo el siguiente número de probetas.

Cuadro N°3.5.7. Detalle del número de muestras a ser ensayadas

N° días para romper probetas	Probetas patrón (sin adhesivo)		Aplicando adhesivo N° 1		Aplicando adhesivo N° 2		Total probetas
	Resistencia (Kg/cm ²)		Resistencia (Kg/cm ²)		Resistencia (Kg/cm ²)		
	fck(1)	fck(2)	fck(1)	fck(2)	fck(1)	fck(2)	
7	4	4	4	4	4	4	144
14	8	8	8	8	8	8	
28	12	12	12	12	12	12	
Sub-total	24	24	24	24	24	24	

Fuente: Propia

○ **Equipos:**

Los equipos utilizados para realizar esta investigación fueron facilitados por el laboratorio de suelos y hormigones de la universidad Juan Misael Saracho ya que el

mismo al dedicarse del estudio de los mencionados consta con el material necesario.

El equipo que se utilizo en el trabajo de investigación fue el que se presenta a continuación:

Cuadro N°3.5.8. Equipo utilizado en el trabajo de investigación

EQUIPOS E INSTRUMENTOS	DESCRIPCIÓN
Material de limpieza	De 4 hornallas a gas natural.
Horno	Temperatura máx. 400 °C
Cocinilla	De 4 hornallas a gas natural.
Prensa hidráulica	Compact 1500, de 1540 KN de capacidad, Lect. 4 KN/div.
Balanza digital y balanzas manuales.	De diferentes capacidades.
Hormigonera	Mezcladora eléctrica, de capacidad máxima, entre los 45 Lt.
Cono de Abrams	Molde metálico, cono truncado con base de $f=200$ mm, la parte superior de $f=100$ mm y una altura de 300 mm.
Varilla apisonadora.	De 25 mm. de diámetro y un peso de 340 gr.
Varilla de compactación de acero	De 15.9 mm de diámetro y aproximadamente 60 cm. de largo, con sus extremos de forma semiesférica.
Herramientas	Manguera, carretillas, palas, bandejas metálicas, juego de espátulas, badilejos, plancha, juego de llaves, flexómetro, regla metálica, combos de goma, brochas, martillos.
Moldes de PVC para probetas	De 3" o 7.5 cm. de diámetro y 6" o 15 cm de altura.
Molde cónico	De 73 mm. de altura con diámetros de 89 y 38 mm.
Instrumentos médico menor	Probetas de 1000 y 25 cc., matraz de 500 ml., pipetas de 10 ml., termómetro de -10 a 200 °C, vasos de precipitación de 1000 cc.

Cesto cilíndrico de tela metálica	De abertura de 4.76 mm. y de 20 cm. de diámetro.
Juego de tamices de abertura cuadrada	2 ½'', 2'', 1 ½'', 1'', ¾'', ½'', 3/8'', N° 4, N° 8, N° 16, N°30, N° 50, N°100, N° 200, base y tapa.
Cuarateadores metálicos	Para material grueso y fino.

Fuente: Propia

3.6. FASES DE LA INVESTIGACION.

3.6.1. FASE I SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

Recolección de la información, la misma que es necesaria para poder realizar la investigación de tal manera que se tenga bien clara la estructuración de la misma.

Ubicación del banco de los materiales necesarios, para poder hacer la extracción de los mismos.

Clasificar los materiales, para poder determinar la calidad de los mismos.

3.6.2. FASE II ENSAYOS DE LABORATORIO.

Ensayos para el agregado fino: Análisis granulométrico, modulo de finura, peso específico, porcentaje de absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado, los mismos que son necesarios para realizar la dosificación del hormigón. Ensayos para el agregado grueso: Granulometría, modulo de finura, peso específico, porcentaje de absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado, dichos ensayos son necesarios para realizar la dosificación.

3.6.3. FASE III DOSIFICACION DEL HORMIGON.

La dosificación para la realización del trabajo de investigación es asumida aleatoriamente, para los dos tipos de hormigón, en nuestro caso los hormigones con fck(1) y fck(2). Las cuales están en peso y proporciones.

3.6.4. FASE IV ELABORACION Y CURADO DE LA MEZCLA.

Ensayos de la elaboración de la mezcla.

Ensayo de curado de la mezcla.

Ensayos a la compresión, en donde se pondrá a prueba en diferentes edades, la resistencia real que brindan los adhesivos al unir hormigón viejo con hormigón nuevo y determinar cuál es el adhesivo más recomendable para esta aplicación.

3.6.5. FASE V ANALISIS DE RESULTADOS.

Análisis y comparación de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas, el mismo que es necesario para mostrar si la investigación cumplió con el objetivo planteado.

Análisis de la relación costo beneficio del estudio.

Emitir las conclusiones de la investigación, en donde se dará a conocer el porqué del éxito o el fracaso de la investigación.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

4.1. FASE I SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

Los adhesivos epoxicos se los selecciono con el criterio de que sean productos de fácil acceso para el constructor que desee adquirirlos, esto implica que se encuentren en el mercado nacional de materiales de construcción. Para este estudio los adhesivos epoxicos son de la misma industria ya que en nuestro país no existe alguna importadora que introduzca otra marca de adhesivos, cabe hacer notar que estos son de similares características técnicas y resistentes, de ahí la necesidad de su comparación, las fichas técnicas de cada producto se las presenta en el anexo A.

El cemento que se utilizo para realizar esta investigación es el Cemento Portland Tipo I-P30 de fraguado normal (El Puente), porque es el cemento que más se utiliza en nuestro medio.

Los agregados grueso y fino se los obtuvo en la zona del rio Santa Ana de la ciudad de Tarija, ya que este es uno de los bancos de material muy reconocido en la zona.

4.2. FASE II ENSAYOS DE LABORATORIO.

En el laboratorio de determino las siguientes características del cemento y los agregados:

Características del cemento:

Cuadro N°4.2.9. Especificaciones físicas y mecánicas del cemento

ESPECIFICACIONES FISICAS Y MECANICAS DEL CEMENTO		
PESO ESPECIFICO		3,03 gr/cm ³
RESISTENCIA		31,80 MPa.
TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL (min)	02:20
	FINAL (Hrs)	04:20

Fuente: SOBOCE

Características del agregado fino:

Las características físicas que se determinaron del agregado fino son las siguientes:

- Peso específico y absorción del agregado fino
- Análisis granulométrico
- Determinación del peso unitario compactado del agregado fino

De las cuales su cálculo se presenta en el anexo “B”.

Características del agregado grueso:

Las características físicas que se determinaron del agregado grueso son las siguientes:

- Peso específico y absorción del agregado grueso
- Análisis granulométrico del agregado grueso
- Determinación del peso unitario compactado del agregado grueso

De las cuales su cálculo se presenta en el anexo “B”.

4.3. FASE III DOSIFICACION DEL HORMIGON.

Las dos dosificaciones se las asume aleatoriamente para obtener las resistencias $f_{ck}(1)$ y $f_{ck}(2)$ respectivamente las cuales se presentan a continuación:

- **Primer tipo de hormigón para un $f_{ck}(1)$.**

La dosificación que se utilizó para obtener el $f_{ck}(1)$, es la que se muestra a continuación.

La dosificación estos se encontrarán en un estado superficialmente seco. A continuación se muestra, las proporciones calculadas, en peso y volumen.

Cuadro N° 4.3.10. Cantidad de material necesario en peso húmedo

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	315.52	kg/m ³
Agregado grueso	1137	kg/m ³
Agregado fino	825.08	kg/m ³
Agua	192.97	kg/m ³ o Lit.

Fuente: Anexo C

Cuadro N° 4.3.11. Razón establecida de volumen

PROPORCIONES		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
1,0	2,5	3.6

Fuente: Anexo C

- **Segundo tipo de para un fck(2).**

La dosificación que se utilizo para obtener el fck(2), es la que se muestra a continuación.

Cuadro N° 4.3.12. Cantidad de material necesario en peso húmedo

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	457.50	kg/m ³
Agregado grueso	1137.00	kg/m ³
Agregado fino	697.99	kg/m ³
Agua	190.04	kg/m ³ o Lit.

Fuente: Anexo C

Cuadro N° 4.3.13. Razón establecida de volumen

PROPORCIONES		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
1,0	1,5	2.5

Fuente: Anexo C

4.4. FASE IV ELABORACION, CURADO DE LA MEZCLA Y ENSAYO A COMPRESION DEL HORMIGÓN.

La elaboración de los testigos de probeta de hormigón, se las realizo de la siguiente manera:

- La elaboración de las probetas patrón y los especímenes se los realizo al simultáneamente al mismo tiempo, con el mismo hormigón para que estos reflejen un comportamiento que los relacione uno del otro.
- Una parte de la mezcla se la vació en el recipiente para realizar el en ensayo de asentamiento en el cono de Abrams el mismo que fue llenado en tres capas apisonando cada una de ellas con 25 golpes, una vez llenado el cono se lo enrasó con la regla y se midió el asentamiento el mismo que fue en todas las ocasiones de 5cm esto para evitar que se alteren las características de las diferentes mezclas.
- Una vez realizado el control de la mezcla se prosiguió con el llenado de los moldes de la siguiente manera:
- Se llenaron los moldes con hormigón en tres capas iguales apisonando cada capa con 25 golpes y también vibrando cada capa con un combo de goma dando 15 golpes en el exterior esto con el fin de eliminar las burbujas de aire. La tercera capa se la enrasa con el borde del molde con la regla y un badilejo.
- 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.

- 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.

Figura N° 4.4.11. 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).



Fuente: Elaboración propia

El curado de las probetas se lo realizo de la siguiente manera:

- El curado de las probetas se lo realizó introduciendo las misma en recipientes con agua, en los cuales se tomo la temperatura dos horas al día para así poder obtener la temperatura media diaria para posteriormente realizar una corrección a la edad del hormigón por madurez, las probetas se encontraron sumergidas en su totalidad hasta 24 horas antes de que se realice el ensayo mecánico de resistencia a la compresión el mismo que se lo realizó en tres diferentes edades de 7, 14 y 28 días. Se decidió no

realizar el ensayo a los tres días debido que la prensa no brinda datos confiables a esa edad ni a ninguna otra.

Ensayo de resistencia a compresión:

El ensayo mecánico de resistencia de las probetas cilíndricas, se efectuó según la norma ASTM C 39; donde el esfuerzo a la compresión del espécimen es calculado dividiendo la máxima carga leída durante el ensayo, por el área de la cara axial del mismo.

El equipo empleado fue: una prensa hidráulica, balanzas con juego de pesas, un flexómetro.

En la parte inferior se puede observar la nivelación de la probeta con un capín de azufre y cemento y también se puede observar la prensa hidráulica:

Figura N°4.4.12. Nivelación de probeta según Norma ASTM C-39-86 (Método estándar de prueba para fuerza compresiva de especímenes cilíndricos de hormigón).



Fuente: Elaboración propia

El equipo empleado fue: una prensa hidráulica, balanzas con juego de pesas, un flexómetro.

El procedimiento ejecutado se describe a continuación:

- Se verificó con un flexómetro las dimensiones de las probetas.
- Todas las muestras fueron pesadas antes de su respectivo ensayo.

- Luego se colocaron las probetas en la parte inferior de la prensa, limpiando ésta con anterioridad.
- Se alineó la muestra, con el centro de la parte superior de la prensa (soporte con cabeza movable), y se verificó que la carga esté en cero.

Inmediatamente se cerró la prensa, y empezó a aplicar la carga continuamente, hasta que la probeta falló, registrando así la máxima carga soportada por la probeta o de rotura. Observando así el tipo de falla que presentaban cada una.

4.5. FASE V ANALISIS DE RESULTADOS.

4.5.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO.

- **Análisis de los resultados del ensayo de rotura de probetas a compresión:**

El análisis estadístico que se hace para determinar la resistencia característica del hormigón es el siguiente:

La Distribución Normal.

Uno de los ejemplos más importantes de una distribución de probabilidad continua es la distribución normal, llamada a veces la distribución Gaussiana, la función de densidad esta dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty$$

Donde μ y σ son la media y la desviación estándar, respectivamente. La función de distribución correspondiente está dada por:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Si X tiene la función de distribución dada en la ecuación anterior, decimos que la variable aleatoria X esta distribuida normalmente con media μ y varianza σ^2 .

Sea Z la variable estandarizada correspondiente a X , es decir, si tenemos:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Esta distribución se aplica cuando el tamaño de la muestra es $N \geq 30$, porque según la teoría estadística brinda mejores resultados cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito.

La Distribución t de Student.

Si una variable aleatoria tiene función de densidad, entonces:

$$f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\nu\pi}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{\nu}\right)^{-(\nu+1)/2} \quad -\infty < x < \infty$$

Se dice que distribución t de Student, o distribución t, con ν grados de libertad. Si ν es grande ($\nu \geq 30$), la grafica de $f(t)$ se aproxima muy cerca a la curva normal estándar.

Para la distribución t tenemos:

$$\mu=0 \quad \text{y} \quad \sigma^2 = \frac{\nu}{\nu-2} \quad \text{para } (\nu > 2)$$

El siguiente teorema es muy importante para el futuro estudio.

Sean Y y Z variables aleatorias independientes, donde Y está distribuida normalmente con media 0 y varianza 1, mientras que Z tiene distribución Chi-cuadrado con ν grados de libertad. Entonces la variable aleatoria es:

$$T = \frac{Y}{\sqrt{\frac{Z}{\nu}}}$$

Tiene la distribución t con ν grados de libertad.

Para el análisis estadístico se realizo el siguiente análisis:

1° Se escogió realizar este análisis con la distribución **t** de student con **v** grados de libertad ya que la teoría estadística aconseja usar cuando el tamaño de la muestra es $N < 30$, y cuando $N \geq 30$ esta se aproxima muy cerca de la distribución estándar.

2° Se trabaja con la probabilidad de un 95% de que los resultados de las roturas de probetas sobrepasen la resistencia de diseño o resistencia característica del hormigón f_{ck} , también llamado $f'c$.

3° Grado de libertad se considera a una variable estadística que nunca se la podrá determinar con exactitud, de aquí que para nuestro caso de análisis el grado de libertad es:

$$v = N - 1 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

v = Grados de libertad

N = Numero de especímenes o probetas

Cuadro N°4.5.14..Coeficientes de la distribución t de student para los grados de libertad analizados

N (N°de probetas)	v (Grados de libertad)	k_t (Al $t_{95\%}$ de probabilidad.)
4	3	2.35
8	7	1.90
12	11	1.80

Fuente: Probabilidad y Estadística de Murray R. Spiegel

4° Resistencia media a la compresión:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_{ci}}{n} \quad \text{Ec.(2)}$$

Donde:

f_{ci} = Valores de cada observación.

n = Número de elementos de la muestra.

5° Desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \quad \text{Ec.(3)}$$

Donde: f_{ci} = Valores de cada observación.

f_{cm} = Media de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

6° Resistencia característica:

Para determinar la resistencia característica del hormigón, se aplicó ciertos criterios probabilísticos, donde:

La resistencia característica a compresión, es un valor que se define como aquella, para la cual existe un cierto grado de probabilidad de ser superada por las mezclas elaboradas, de las cuales las probetas ensayadas son muestras representativas.

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - K_t * \delta)$$

7° Relación entre resistencias:

$$\frac{f_{cm}}{f_{ck}} = \frac{1}{1 - k_t * \delta}$$

δ = Coeficiente de variación. $\delta = \frac{s}{f_{cm}}$

4.5.2. RESULTADOS DEL ANALISIS.

- RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESION DE LAS PROBETAS PATRON:

Los procedimiento de cálculo, se detalla en el anexo “E” y “F”.

Cuadro N°4.5.15. Resultados de las probetas patrón.

PROBETA PATRON CON fck	EDAD (días)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)
fck(1)	7	76.78
	14	106.80
	28	130.65
fck(2)	7	105.83
	14	141.85
	28	262.03

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5.16. Comparación de resultados de adherencia a los 7 días de edad.

PROBETA UNIDA CON ADHESIVO TIPO Y CON fck	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
TIPO I fck(1)	23.48	C
TIPO II fck(1)	49.18	D
TIPO I fck(2)	43.79	D
TIPO II fck(2)	50.89	D

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.5.17. Comparación de resultados de adherencia a los 14 días de edad.

PROBETA UNIDA CON ADHESIVO TIPO Y CON fck	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
TIPO I fck (1)	48.53	C
TIPO II fck (1)	102.46	D
TIPO I fck (2)	111.66	C
TIPO II fck (2)	81.84	D

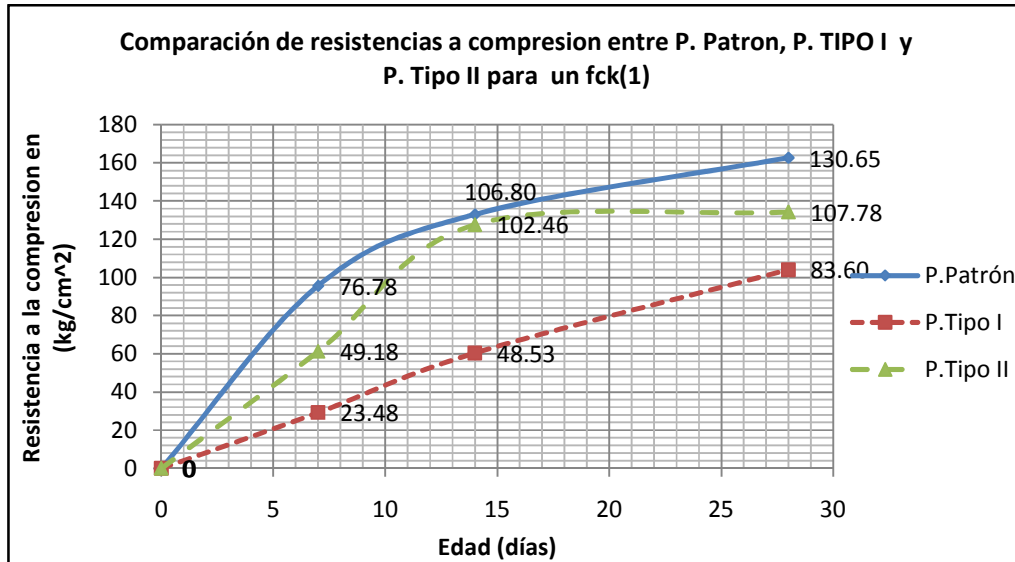
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.5.18. Comparación de resultados de adherencia a los 28 días de edad.

PROBETA UNIDA CON ADHESIVO TIPO Y CON fck	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
TIPO I fck (1)	83.60	C
TIPO II fck (1)	107.78	D
TIPO I fck (2)	188.50	C
TIPO II fck (2)	169.61	D

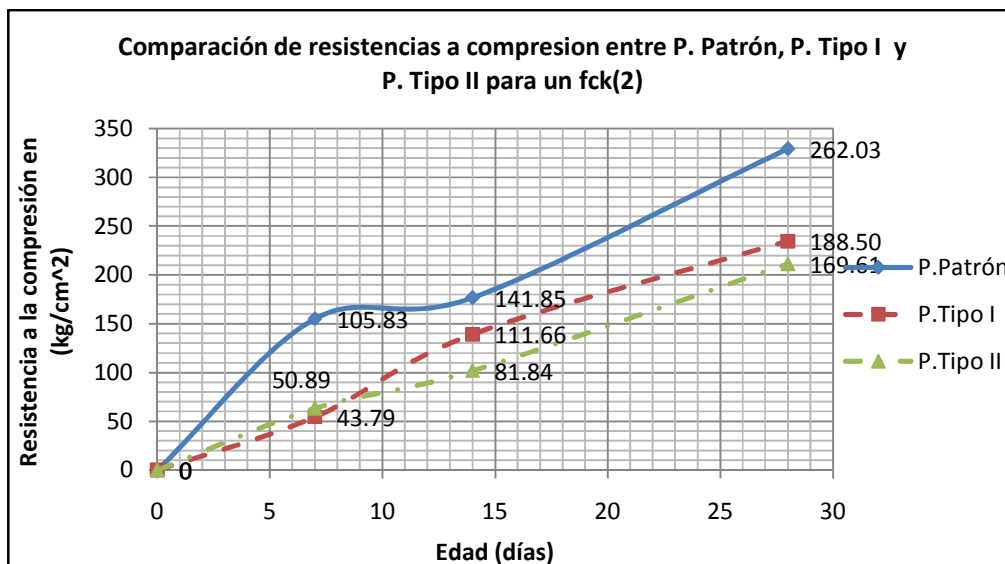
Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 4.5.4. Comparación de resistencias a compresión entre probetas patrón, probetas tipo I y probetas tipo II para un fck(1).



Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 4.5.5. Comparación de resistencias a compresión entre probetas patrón, probetas tipo I y probetas tipo II para un fck(2).



Fuente: Elaboración propia.

- **Comparación de resultados de resistencia a compresión entre las probetas patrón y las probetas tipo I y tipo II.**

Cuadro N° 4.5.19. Comparación de resultados entre probetas Tipo I y probetas patrón (Tipo I / P), para un fck(1).

Edad	Probetas Patrón	Probetas Tipo I	Factor de relación (Tipo I/P)
días	kg/cm ²	kg/cm ²	
7	76.78	23.48	0.30
14	106.80	48.53	0.45
28	130.65	83.60	0.64

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5.20. Comparación de resultados entre probetas Tipo II y probetas patrón (Tipo II / P), para un fck(1).

Edad	Probetas Patrón	Probetas Tipo II	Factor de relación (Tipo II/P)
días	kg/cm ²	kg/cm ²	
7	76.78	49.18	0.64
14	106.80	102.46	0.95
28	130.65	107.78	0.82

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5.21. Comparación de resultados entre probetas Tipo I y probetas Tipo II (Tipo I / Tipo II), para un fck(1).

Edad	Probetas Tipo I	Probetas Tipo II	Factor de relación TipoI/TipoII
días	kg/cm ²	kg/cm ²	
7	23.48	49.18	0.47
14	48.53	102.46	0.47
28	83.60	107.78	0.78

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5.22. Comparación de resultados entre probetas Tipo I y probetas patrón (Tipo I / P), para un fck(2).

Edad días	Probetas Patrón kg/cm ²	Probetas Tipo I kg/cm ²	Factor de relación (Tipo I/P)
7	105.83	43.79	0.41
14	141.85	111.66	0.78
28	262.03	188.50	0.72

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5.23. Comparación de resultados entre probetas Tipo II y probetas patrón (Tipo II / P), para un fck(2).

Edad días	Probetas Patrón kg/cm ²	Probetas Tipo II kg/cm ²	Factor de relación (Tipo II/P)
7	105.83	50.89	0.48
14	141.85	81.84	0.57
28	262.03	169.61	0.64

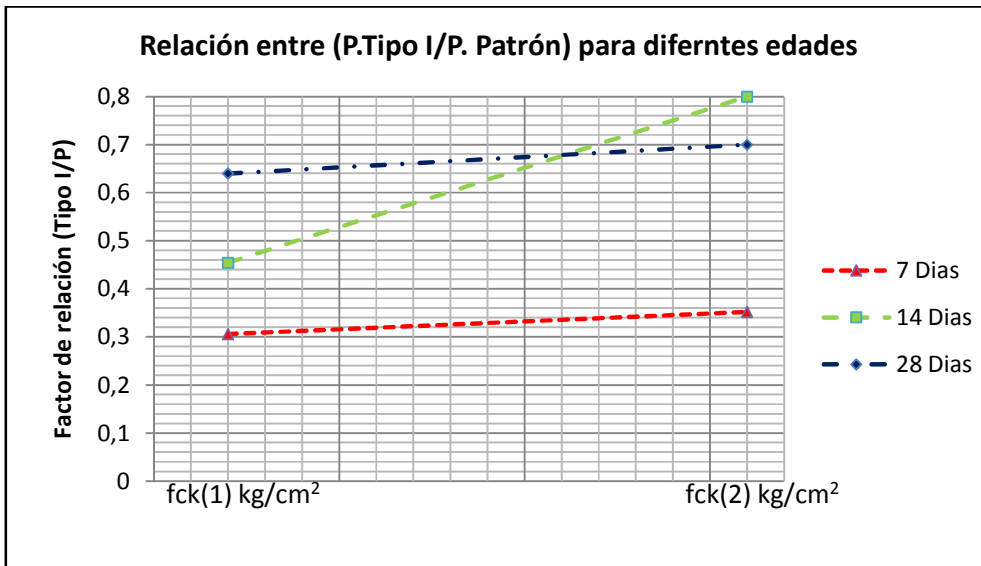
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5.24. Comparación de resultados entre probetas Tipo I y probetas Tipo II (Tipo I / Tipo II), para un fck(2).

Edad días	Probetas Tipo I kg/cm ²	Probetas Tipo II kg/cm ²	Factor de relación TipoI/TipoII
7	43.79	50.89	0.86
14	111.66	81.84	1.36
28	188.50	169.61	1.11

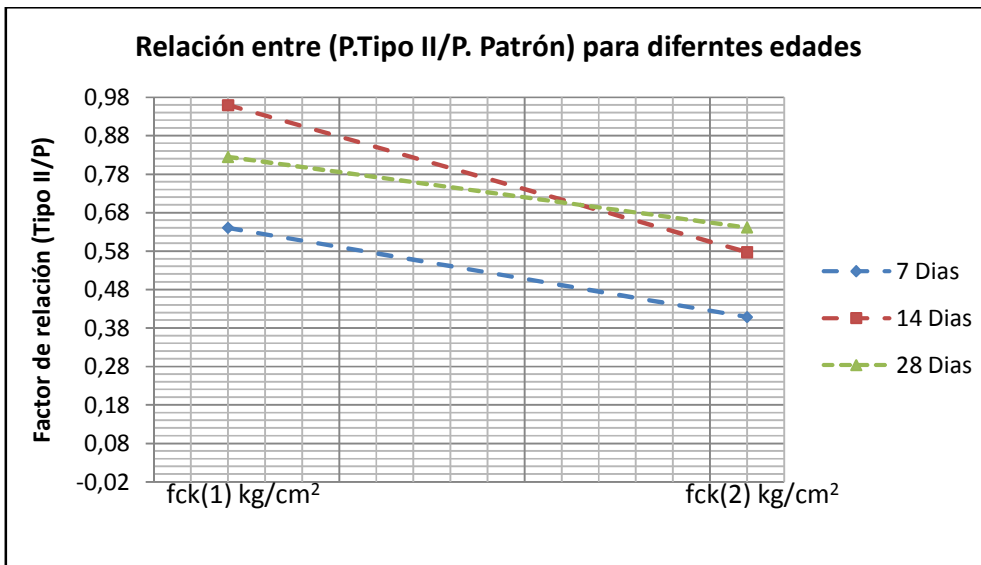
Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 4.5.6. Factor de relación (Tipo I / P) para diferentes edades.



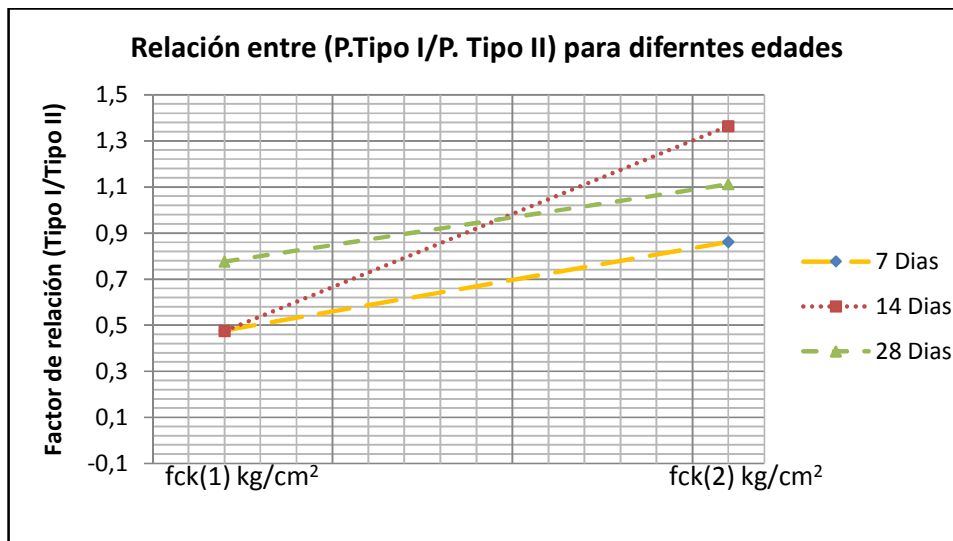
Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 4.5.7. Factor de relación (Tipo II/ P) para diferentes edades.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 4.5.8. Factor de relación (Tipo I / Tipo II) para diferentes edades.



Fuente: Elaboración propia.

○ **COMPARACION 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.

Cuadro N° 4.5.25. Comparación de resultados del análisis Costo-Beneficio entre los dos tipos de adhesivos

Tipo de Adhesivo	Costo en (Bs.)	Presentación por unidad (kg)	Rendimiento (kg/m ²)
Tipo I	195	1	0,5
Tipo II	202	1	0,3 a 0,5

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- Unir dos elementos de concreto no es muy común de apreciar actualmente en el país, en el mercado existe una reducida gama 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.
- Con la utilización de adhesivos, el constructor cuenta con una buena opción para enfrentarse a los problemas de uniones, ya que hace unos años atrás, era un problema serio debido al desconocimiento de este tipo de sistemas.
- Según los resultados obtenidos en los análisis, se puede apreciar un decremento de la resistencia del hormigón en las probetas Tipo I y Tipo II, con respecto a las probetas patrón, esto en para ambas dosificaciones.
- La prensa hidráulica para realizar el ensayo de resistencia a compresión del laboratorio de suelos y hormigones de nuestra carrera, no se encuentra en las mejores condiciones, porque al principio de la investigación no daba resultados satisfactorios, esa incertidumbre nos llevo a romper probetas en el laboratorio de hormigones de SOBOCE S.A., aquí caímos en cuenta que la prensa del laboratorio de suelos y hormigones de la U.A.J.M.S. da lecturas en un 25% menor en relación a la prensa de SOBOCE S.A.
- Cabe hacer notar que en el ensayo de rotura de probetas a compresión las fallas que se presentaron no afectaron al a ningún adhesivo, ya que esta se produjo alrededor de la unión del adhesivo y el hormigón, fallando en todos los casos el hormigón y

no así el adhesivo aplicado ya sea en su caso el adhesivo tipo I (Sikadur 32-Gel) o Tipo II (Colmafix-32).

- Concluir diciendo que estos adhesivos son garantizados y recomendables por la resistencia que brindan a este tipo de sistemas de adherencia entre hormigón viejo y hormigón nuevo.
- En la relación costo-beneficio entre los dos adhesivos evaluados, el adhesivo tipo I es más económico que el adhesivo tipo II. Pero cada adhesivo tiene sus ventajas y desventajas particulares de acuerdo, al tiempo de aplicación del producto en cuestión, dicho análisis está en función de la utilidad que se le dé. Por último decir que la relación costo-beneficio es grande porque con la aplicación de estos productos lo que se busca es garantizar una unión monolítica entre hormigones, a lo de la vida útil del mismo garantizando seguridad y durabilidad.
- Cuando el factor de relación es inferior a uno como el caso del Cuadro N°4.5.19, 4.5.20, 4.5.21, 4.5.22 y 4.5.23, significa que la resistencia de las probetas utilizadas es inferior al cilindro patrón de referencia.
- Cuando el factor de relación es superior a uno como el caso del Cuadro N° 4.5.24, significa que la resistencia de las probetas utilizadas es superior al cilindro patrón de referencia.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Observar las indicaciones de estos productos, para su manipulación, ya que esto puede ser perjudicial para la persona que lo esté aplicando.
- 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 I sobre uno tipo II.
- Se recomienda utilizar el adhesivo tipo I para adhesiones donde no se involucre un sistema estructural importante: reparaciones de losas, anclajes, etc.
- Se recomienda utilizar el adhesivo tipo II, es más adecuado para hacer adhesiones entre concreto viejo y concreto nuevo en elementos estructurales importantes: columnas, vigas, losas, etc.
- En cuanto al agregado grueso, se recomienda tener cuidado en la selección del mismo porque todo el material que se encuentra en la cuenca del río Santa Ana no es uniforme o constante en su composición.
- Para realizar el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de hormigón, se recomienda realizar este ensayo mínimamente en dos laboratorios distintos, para así garantizar la obtención de resultados satisfactorios. O en caso contrario verificar que la prensa tenga su certificado de calibración este vigente.
- 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.