ÍNDICE

Página.

1 ASPECTOS GENERALES. 5

1.1 INTRODUCCIÓN. 5

1.1.1 Problema 5

1.1.2 Sistematización 6

1.2 OBJETIVOS. 8

1.2.1 General. 8

1.2.2 Especifico. 8

1.3 JUSTIFICACIÓN. 8

1.3.1 Teórica. 8

1.3.2 Metodología 9

1.3.3 Practica 9

1.3.4 Académica 9

1.3.5 Conceptual. 9

1.3.6 Espacial. 10

1.3.7 Temporal. 11

1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO 11

1.4.1 Tipo de estudio. 11

1.5 HIPÓTESIS. 13

1.5.1 Ensayos a realizar. 13

1.5.2 Restricciones. 13

2 MARCO TEÓRICO. 15

2.1 ADHERENCIA ENTRE CONCRETOS 15

2.1.1 Funcionalidad 15

2.1.2 Rendimiento de la junta adhesiva frente a agentes externos 15

Página.

2.1.1 Consecuencias 19

2.1.2 Ventajas y desventajas 20

2.2 EPOXIS 21

2.2.1 Colma Fix 32 22

2.2.2 Sikadur 32 Gel 24

2.3 LECHADA DE CEMENTO 26

2.3.1 Aplicabilidad 26

2.4 HORMIGÓN 27

2.4.1 Características mecánicas 27

2.4.2 Características físicas del hormigón 28

2.4.3 Fraguado y endurecimiento 28

2.4.4 Resistencia 29

2.4.5 Consistencia del hormigón fresco 30

2.5 CEMENTO 31

2.5.1 Características del cemento portland 32

2.5.2 Peso especifico 32

2.5.3 Finura de molido 32

2.6 ÁRIDOS 33

2.6.1 Propiedades de los agregados 34

2.6.2 Granulometría de los agregados 35

2.6.3 Peso específico 40

2.6.4 Porcentaje de absorción 41

2.6.5 Humedad superficial 41

2.7 AGUA 43

2.8 DOSIFICACIÓN ACI-211.1 44

Página.

2.9 Elaboración de probetas. 48

2.10 Curado de probetas. 49

2.11 Ensayos a las probetas de hormigón 50

2.11.1 Flexión Simple 50

2.11.2 Compresión Simple 51

2.12 METODOLOGÍA PARA OBTENER LOS RESULTADOS 52

3 MARCO PRÁCTICO. 53

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS 53

3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO. 53

3.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS 54

3.3.1 Muestreo de grava y arena 54

3.3.2 Muestreo del cemento 54

3.4 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN 54

3.4.1 Granulometría de la grava 54

3.4.2 Peso unitario de la grava 56

3.4.3 Módulo de finura de la grava 57

3.4.4 Peso específico y absorción de la grava 57

3.4.5 Granulometría de la arena 58

3.4.6 Peso unitario de la arena 59

3.4.7 Módulo de finura de la arena 60

3.4.8 Peso específico y absorción de la arena 61

3.4.9 Peso específico del cemento 62

3.5 DOSIFICACIÓN ACI-211.1 62

3.6 Ensayo de Resistencia 68

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS 74

Página.

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN ESTADO FRESCO 74

4.1.1 Trabajabilidad 74

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN ESTADO ENDURECIDO 74

4.2.1 Ensayo a compresión 74

4.2.2 Ensayo a flexión 75

4.2.3 Análisis Económico. 76

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 81

5.1 CONCLUSIONES 81

5.2 RECOMENDACIONES 84

1 ASPECTOS GENERALES.

1.1 INTRODUCCIÓN.

La problemática actual de la sociedad a nivel mundial y en especial la de nuestro país, se encuentra plagada de conflictos políticos, económicos y en su mayoría sociales que desencadenan en contiendas entre distintos sectores, paros, toma de instituciones, etc. ocasionando que, las obras que se encuentran en plena etapa de ejecución, se tengan que paralizar. Otros factores que ocasionan la paralización son errores en el presupuesto, mala administración, insuficiencia de madera para el encofrado, construcción y factores ambientales.

Esto provoca que, cuando se reactive la construcción, se tenga que adherir el hormigón viejo y el hormigón nuevo en la mayoría de los casos sin ningún tipo de aditivo epóxico o sin el procedimiento de adherencia adecuado.

Los aditivos epóxicos son productos químicos creados con el fin de unir el hormigón nuevo con el hormigón viejo manteniendo sus características estructurales. El uso de estos aditivos no es común en obras por el costo que tienen y por la falta de exigencia que existe en el proceso de construcción.

Al ser escaso el uso de estos aditivos, en su lugar, algunas empresas optan por el uso de lechada de cemento, otras solo saturan la superficie de hormigón viejo y otras no usan nada, por lo que es necesario realizar un análisis de la influencia en las características estructurales del hormigón el uso o no de estos diferentes métodos de adherencia en los puntos de unión de hormigón viejo con hormigón nuevo.

1.1.1 Problema

En la adherencia de hormigón viejo con hormigón nuevo se busca que la unión sea monolítica para que así la estructura no se fisure y falle en los puntos de unión, esto es muy difícil de lograr por la edad del hormigón viejo que mientras más antiguo sea más difícil es lograr una buena unión, además se debe considerar los diferentes factores que impiden una buena adherencia como:

- La edad de ambos hormigones.
- La capa solida de cemento que recubre la superficie del hormigón viejo.
- La dosificación y consistencia de ambos hormigones.

- Mala ejecución del proceso de adherencia.

Al ser la fisura una falla muy común en estructuras de hormigón que contienen uniones de hormigón nuevo con hormigón viejo, es necesario realizar un estudio con diferentes métodos de adherencia y dar una solución técnica que evite variaciones en la capacidad estructural de los elementos.

La mala adherencia puede ocasionar serios problemas en el cuerpo de la estructura tales como fisuras e infiltraciones las mismas que pueden reducir la vida útil de la obra y un mal funcionamiento de la estructura. Por este motivo es que se plantean varias alternativas de solución para que la adherencia entre el hormigón viejo y nuevo no influya en las características estructurales del hormigón.

- Aplicación de aditivos químicos en la adherencia de hormigón viejo con hormigón nuevo.
- Realizar un estudio comparativo de la adherencia en la unión de hormigón viejo con hormigón nuevo utilizando tres tipos de materiales.
- Aplicación de un curado de saturación sobre el hormigón viejo para la mejor adherencia del hormigón nuevo.

1.1.2 Sistematización

Para efectuar una buena adherencia en los puntos de unión entre el hormigón viejo y el hormigón nuevo es necesario efectuar el siguiente procedimiento:

- Limpiar la superficie dejándola libre de polvo, grasa o cualquier suciedad que impida la adherencia del nuevo hormigón.
- Remover cualquier hormigón débil o deteriorado.
- Limpiar la armadura de la presencia de óxido.
- La superficie puede estar seca o húmeda, pero libre de empozamiento antes de aplicar el adhesivo.
- Preparar el adhesivo pegante epóxico u otro.
- Distribuir uniformemente con brocha o escoba al adhesivo pegante sobre el hormigón viejo y colocar el nuevo hormigón antes que éste se seque.
- En caso que el adhesivo pegante se llegue a secar, este debe ser retirado escarificándolo.

Para el estudio de la adherencia será necesario realizar ensayos con tres materiales adherentes para establecer con cuál de estos se logra la unión monolítica entre el hormigón nuevo y el hormigón viejo.

Variables independientes

Cemento.- La cantidad de cemento es una variable que no puede ser sustituida o modificada puesto que ya fue calculada para la dosificación establecida y se debe mantener en su normalidad para no modificar la resistencia del hormigón.

Agregados pétreos.- la cantidad de agregados tanto de arena como de grava están en función a la dosificación por lo que no pueden variar si es que se quiere mantener la resistencia requerida del hormigón.

Alternativas de solución

1. Aplicación de aditivos químicos en la adherencia de hormigón viejo con hormigón nuevo en vigas sometidas a flexión.

Técnicamente, es una buena solución ya que son aditivos preparados con el fin de adherir hormigón nuevo con hormigón viejo, el inconveniente seria el costo de estos productos y su adecuada aplicación en la obra, por eso esta alternativa queda descartada.

2. Realizar un estudio comparativo de la adherencia en la unión de hormigón viejo con hormigón nuevo utilizando tres materiales aditivos en vigas sometidas a flexión.

Técnicamente, es necesario realizar un estudio de adherencia en la unión de hormigón viejo con hormigón nuevo empleando tres tipos de materiales aditivos para establecer la mejor alternativa de solución y lograr una adherencia monolítica. Esta alternativa es la mejor ya que se realizara con tres materiales para así poder comparar resultados y establecer la mejor alternativa de solución.

3. Aplicación de un curado de saturación sobre el hormigón viejo para la mejor adherencia del hormigón nuevo en vigas sometidas a flexión.

Técnicamente, la saturación de la superficie de hormigón viejo sería una acción complementaria para ejecutar otro método de adherencia por lo que esta alternativa no es viable aunque su estudio no es descartable.

Alternativa seleccionada

De las alternativas planteadas, la mejor es realizar un estudio de la adherencia en la unión de hormigón viejo con hormigón nuevo utilizando tres tipos de materiales adherentes, en estructuras sometidas a flexión ya que es un trabajo más complejo y de gran interés.

Para efectuar un análisis más profundo se materializaran probetas patrón, macizas sin junta y con junta pero sin tratamiento para instaurar los límites del estudio.

1.2 OBJETIVOS.

La presente propuesta de trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos.

1.2.1 General.

- ✓ Establecer el método de adherencia más eficaz tanto técnico como económico para unir hormigón nuevo con hormigón viejo en vigas sometidas a flexión utilizando tres tipos de materiales adherentes.

1.2.2 Específicos.

- ✓ Determinar la caracterización de los materiales a ser utilizados.
- ✓ Establecer la dosificación para la elaboración de las probetas.
- ✓ Estudiar métodos y materiales para la adherencia de hormigón viejo con nuevo.
- ✓ Comparar los diferentes materiales y su funcionalidad en la adherencia de hormigón viejo con nuevo en estructuras sometidas a flexión.
- ✓ Instituir las conclusiones y recomendaciones del estudio ejecutado.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Las razones por las cuales se elaborara el trabajo de investigación son las siguientes:

1.3.1 Teórica.

El trabajo de investigación propone en función de teorías existentes, aportar con innovaciones tecnológicas y metodológicas experimentales, para enriquecer conocimientos en lo que respecta a la adherencia de hormigones de diferentes edades.

1.3.2 Metodología

A través de la selección de una estructura de viga patrón se pretende establecer un método de adherencia entre hormigón viejo con nuevo que logre una estructura monolítica y que a través del ensayo a flexión, se pueda evaluar la resistencia tracción y el agarre que proporciona la junta de unión entre los hormigones de diferentes edades.

1.3.3 Practica

Prácticamente al utilizar un método eficiente de adherencia con materiales pegantes, químicos o no, se reducirá en su totalidad el problema de fisuras y asentamientos en el punto de adherencia de hormigón nuevo con viejo en vigas sometidas a flexión. Además que se podrá manejar en refacciones o cuando se quiera aumentar el canto de la viga.

1.3.4 Académica

El estudio de la adherencia entre hormigón nuevo y hormigón viejo implica la realización de ensayos entrando al campo de la resistencia de los materiales. Para verificar la eficiencia de los materiales aditivos y de su comportamiento en vigas sometidas a flexión.

1.3.5 Conceptual.

Los aditivos químicos son productos elaborados con el fin de darle al hormigón características adicionales o mejorar las características que ya tiene.

En nuestro caso los aditivos utilizados para la adherencia de hormigón viejo con hormigón nuevo por lo general son epóxicos trabajados con gran variedad de componentes que le dan su característica de pegante.

Estos productos son los más convenientes en lo que respecta a su aplicación para la adherencia de hormigón nuevo con hormigón viejo, aunque su uso no es muy común ni exigido, por lo que en este trabajo se demostrara la importancia de su uso en comparación con otros materiales y métodos adherentes más comunes y convencionales usados en nuestro medio tales como:

- Lechada de cemento
- Tratamiento de saturación

• Sin ningún tratamiento

Estos son métodos que por la facilidad técnica y económica son los más utilizados en la obra cuando se quiere adherir hormigón nuevo con hormigón viejo sin tener una referencia técnica de su uso y aplicación.

Material compuesto

Los materiales son compuestos solo cuando cumplen las siguientes características:

• Cuando están formados por dos o más componentes distinguibles físicamente y deparados mecánicamente.

• Cuando presentan varias fases químicamente distintas completamente insolubles entre si y separados por una interface.

• Cuando su propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes.

No pertenecen a los materiales compuestos, aquellos materiales polifásicos; como las aleaciones metálicas, en las que mediante un tratamiento térmico se cambian la composición.

El hormigón es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: Partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado a ciertas armaduras de acero, recibiendo en este caso la denominación de hormigón armado, o concreto pre-reforzado.

1.3.6 Espacial.

Este estudio o trabajo de investigación, en el proceso de recolección de datos experimentales, será desarrollado en las instalaciones del laboratorio de suelos y hormigones de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”, para luego procesar los mismos en gabinete.

1.3.7 Temporal.

El tiempo estimado en que se realizara el estudio para reducir la absorción, porosidad y/o permeabilidad a base de adición de cal al hormigón será de 18 semanas que corresponden al I/semestre de la gestión 2015.

1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO

1.4.1 Tipo de estudio.

El estudio se regirá en establecer el método adecuado tanto técnico como económico para adherir hormigón nuevo con hormigón viejo. Ambos hormigones de diferentes edades estarán basados en los ensayos de la norma A.S.T.M. para la mezcla de hormigón con una resistencia a compresión del hormigón de 210 Kg/cm^2 que es la más solicitada en su uso. La misma que será verificada con la elaboración de probetas cilíndricas que serán ensayadas a compresión a los 28 días.

Las dosificaciones de ambos hormigones no serán alteradas, lo único que se modificara será los materiales aditivos, con los cuales se pretende lograr una adherencia monolítica entre el hormigón nuevo con el hormigón viejo, con las características técnicas correspondientes y economizando el proceso de construcción.

En ambas etapas se realizara el curado respectivo.

Una vez que se tenga los resultados de las probetas tratadas que fueron ensayadas a flexión en laboratorio se efectuara un análisis de resistencia a tracción para evaluar la capacidad de agarre que se tiene en la junta de unión entre los hormigones a diferentes edades, y a su vez una comparación entre todas y en especial con las vigas patrón macizas que no tendrá unión de hormigón nuevo con hormigón viejo y con las vigas sin tratamiento de junta. De esa manera se establecerá el método adecuado técnico y económico para adherir hormigón nuevo con hormigón viejo.

La aplicabilidad de este trabajo de investigación es la de dar apoyo técnico a las empresas constructoras, albañiles y demás personas dedicadas a la construcción, para dar un adecuado tratamiento cuando se les presenta este tipo de inconvenientes.

Adelanto del proceso

Las probetas serán vaciadas hasta un tercio de la luz total de la viga dejando un ángulo de espera de 45º para realizar el proceso de adherencia, esta inclinación está en función a las fisuras en las vigas de hormigón armado debido al esfuerzo cortante por tracción y por cortante/flexión ambas ocasionadas por falla del hormigón al haber excedido su resistencia a tracción limite y se dejaran secar por 28 días cuando se supone alcance su resistencia máxima y la superficie de contacto se encuentre totalmente seca, posteriormente se efectuaran los métodos de adherencia con los tres materiales aditivos y se vaciara el tercio faltante de las probetas y se dejara secar por otros 28 días para así romper en laboratorio a flexión las probetas de vigas. Los materiales adherentes a usar son:

- Aditivo químico (Colma Fix 32)
- Aditivo químico (Sikadur 32 Gel)
- Lechada de cemento

Además se realizará la elaboración de probetas patrón para establecer los rangos máximos y mínimos entre los cuales se supone deben estar los valores de las vigas con tratamiento de junta.

La primera viga patrón será maciza sin la unión entre hormigones a diferentes edades y se ensayarán a los 28 días cuyo valor será instaurado como el máximo a alcanzar por las vigas con tratamiento de junta.

La segunda viga patrón será con la unión entre hormigones a diferentes edades pero no tendrá tratamiento de junta y se ensayaran a los 28 días cuyo valor será establecido como el límite mínimo para las vigas con tratamiento de junta.

Elaboración de probetas. La medida de la resistencia a flexión se realizara mediante pruebas estandarizadas de la norma A.S.T.M. C 78. Por lo tanto las probetas serán elaboradas en vigas de 15cm x 15cm de sección y 60 cm de largo.

Rotura de probetas. La información de los datos para la rotura de probetas se basara en el procedimiento probabilístico de muestreo aleatorio simple, es decir cada medición tendrá una muestra de 11 probetas para las vigas que serán ensayadas a flexión haciendo un total de 55 vigas y 3 probetas cilíndricas para el ensayo a compresión.

1.5 HIPÓTESIS.

Como parte de este trabajo de investigación, se plantearán las siguientes hipótesis para responder las preguntas de investigación.

Cuando se trata de adherir hormigón nuevo con hormigón viejo, los materiales convencionales usados en obra como la lechada de cemento pueden reemplazar a los aditivos químicos logrando resultados similares en cuanto a la conservación de las propiedades mecánicas del hormigón sometido a flexión a un menor costo.

1.5.1 Ensayos a realizar.

El campo de trabajo de investigación estará delimitado a estudiar la característica mecánica de resistencia a flexión simple del hormigón, a través del diseño de la mezcla basada en los ensayos de la norma A.S.T.M. C 78, estableciendo que la resistencia a flexión del hormigón esta alrededor del 10% de la resistencia a compresión. Por lo que la mezcla diseñada será para una resistencia a compresión de 210 Kg/cm^2.

Para verificar la resistencia de 210 Kg/cm^2 también se realizara el ensayo compresión de probetas cilíndricas.

1.5.2 Restricciones.

El campo de trabajo de investigación estará delimitado a estudiar la característica mecánica de resistencia a flexión simple en vigas de hormigón a través de la determinación del módulo de rotura y de la determinación de la resistencia a tracción que es más útil para evaluar el agarre que se logra con el tratamiento de junta correcto para unir hormigones a diferentes edades. Además de analizar las características de adherencia entre el hormigón viejo con hormigón nuevo, a través del uso de tres materiales adherentes. El diseño de la mezcla estará basada en los ensayos de la norma A.S.T.M. para una resistencia mecánica a compresión de 210 Kg/cm^2 que es el tipo de dosificación más solicitado, la resistencia a flexión es igual a 1/10 de la resistencia a compresión, siendo punto de partida para adherir el hormigón viejo con el hormigón nuevo utilizando cuatro materiales adherentes para así establecer cuál es el mejor tanto técnica como económicamente.

El hormigón viejo será considerado a los 28 días después del vaciado ya que es el tiempo establecido para que alcance su máxima resistencia y la superficie de contacto este lo suficientemente seca además de que el tiempo disponible para realizar la práctica es poco.

El procesamiento de datos tendrá como fin revelar la alternativa de solución más coherente de metodología de adherencia entre el hormigón nuevo con el hormigón viejo.

Existe un sin número de ensayos posibles que se pueden efectuar al hormigón, las cuales necesitan de instrumentos tecnológicos para materializarlos y de esta forma determinar las diferentes propiedades con las que cuenta el hormigón, limitados por esta situación no se determinaran las propiedades mencionadas a continuación, debido a que no es viable ejecutarlas en el laboratorio de suelos y hormigones de la carrera de ing. Civil ya que no se cuenta con estos equipos:

- Acústica.
- Térmica.
- Elasticidad.
- Resistencia al fuego.
- Resistencia frente a ataques químicos.

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 ADHERENCIA ENTRE CONCRETOS

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

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

Para alcanzar resultados más efectivos, los agentes adhesivos epóxicos deben aplicarse en capas no más gruesas de 5 mm.

2.1.1 Funcionalidad

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

2.1.2 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:

- Temperatura.
- Humedad.
- 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:

- Efecto de las temperaturas bajas.
- Resistencia al calor.
- Envejecimiento a temperatura.

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

esfuerzos producidos por las piezas que están sellando sobre la propia junta elástica, dando lugar a las fugas.

Se entiende por **resistencia al calor** la resistencia que presenta el adhesivo frente a altas temperaturas puntuales. El efecto de tales temperaturas es la disminución de la viscosidad del material polimérico durante un cierto tiempo. Los materiales termoplásticos se reblandecen enormemente por encima de su temperatura de transición vítrea, llegando a un estado fluido por encima de la temperatura de reblandecimiento. El efecto del calor sobre estos materiales es muy drástico, aunque puede ser reversible, por debajo de la temperatura de descomposición. A altas temperaturas presentan un porcentaje muy bajo de su poder adhesivo inicial.

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.

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

- La absorción de agua por el adhesivo.
- 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 aconsejados 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.

2.1.1 Consecuencias

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

- **Fisuras**

Las fisuras en el concreto podrían aparecer debido a que no existe una adecuada adherencia entre los concretos a diferentes edades, 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.

- **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 empleando no funciona correctamente como un sellante, esto perjudicaría al elemento estructural al que se le aplique.

- **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.

2.1.2 Ventajas y desventajas

- **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 180º C (hasta 250º C en algunas formulaciones). Este tipo de sistema adhiere la mayoría de los sustratos expuestos entre sí formando un sólo 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 ha pelado y a impacto en formulaciones flexibles.

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).

- **Desventajas**

La desventaja más grande que tiene la unión por adhesivos es la incertidumbre.

No se conoce por el momento de ningún método adecuado no destructivo para probar una unión hecha con adhesivo. En las aplicaciones plenamente estructurales, esto puede significar que el componente en particular no se pruebe nunca en condiciones de plena carga de servicio, sino hasta que se coloque la estructura, que puede ser ya demasiado tarde. Las propiedades de la línea real de pegamento son un tanto difíciles de determinar. El módulo de elasticidad de la capa de unión debería aproximarse al valor del módulo del concreto. Presentan problemas de absorción y difusión de la humedad en su seno. Consta de una serie de sistemas de alto rendimiento hechos con bicomponentes

y con necesidad de calor, al menos en la etapa de post-curado existen problemas de tiempos a la hora del curado, la vida de la mezcla y la necesidad de alta temperatura para conseguir un alto grado de reticulación.
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

La adherencia entre el hormigón fresco y viejo es muy importante en la construcción por lo que se deben de seguir los siguientes pasos para obtener una correcta adherencia, ya sea utilizando un aditivo químico o no mucho depende de la forma de aplicación del aditivo para obtener adherencias monolíticas entre el hormigón nuevo y el hormigón viejo

- Limpiar la superficie dejándola libre de polvo, grasa o cualquier suciedad que impida la adherencia del nuevo hormigón.
- Remover cualquier hormigón débil o deteriorado.
- La superficie puede estar seca o húmeda; pero libre de empozamiento antes de aplicar el adhesivo.
- Preparar el aditivo, el producto seleccionado dependerá de la dificultad de hormigonado.
- Distribuir uniformemente con brocha o escoba al adhesivo sobre el hormigón viejo y colocar el nuevo hormigón antes que éste se seque.
- En caso que el aditivo se llegue a secar, este debe ser retirado escarificándolo.

2.2 EPOXIS

Los aditivos químicos son productos elaborados con el fin de darle al hormigón características adicionales o mejorar las características que ya tiene.

En nuestro caso los aditivos utilizados para la adherencia de hormigón viejo con hormigón nuevo por lo general son epóxicos trabajados con gran variedad de componentes que le dan su característica de pegante.

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 0ºC) no se produce reacción alguna. Al elevarse la temperatura comienza la poli condensación de la resina.

Los epoxis empleados en aplicaciones estructurales deben ser curados a temperaturas altas o a temperatura ambiente con post-curado por calor. La ventaja del post-curado como operación independiente, incluso en el caso de juntas ya curadas con algo de calor, es que puede ser efectuado 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 micro dispersa 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.

El estudio de investigación comparativa se realizará con los productos Sikadur 32 Gel y Colma Fix 32.

2.2.1 Colma Fix 32

Colma Fix 32 es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epoxi, libre de solventes, para unir hormigón fresco con endurecido.

2.2.1.1 Aplicabilidad

Al ser uno de los mejores productos para la adherencia entre hormigón fresco con hormigón seco su utilización no sólo se limita a eso, también es útil para adherir el hormigón fresco con:

- Mortero endurecido.
- Piedra
- Acero.
- Fierro.
- Fibrocemento
- Madera.

Ventajas

- Excelente adherencia aún en superficies húmedas.
- Elevadas resistencias mecánicas.
- Tiempo de acción prolongado.
- Libre de solventes.

Normas

- Cumple con las especificaciones de la norma A.S.T.M. C881-78 Tipo II, grado 2.
- Certificado por el Instituto de Salud Pública como producto no tóxico.

Datos Técnicos

- Densidad: 1,4 kg/dm^2
- Adherencia al hormigón : 2,5 - 3 N/mm^2 (ruptura del hormigón).
- Adherencia al acero : 18 - 20 N/mm^2
- Proporción de la mezcla :

En peso	: A: B = 2: 1
En volumen	: A: B = 2: 1

- Resistencias mecánicas:

Compresión	: 60 - 70 N/mm^2
Flexión	: 30 - 35 N/mm^2

Tracción : 18 - 20 N/mm^2

El consumo aproximado es de 0,3 a 0,5 Kg/cm^2, dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.

2.2.1.2 Preparación de las superficies

Al momento de aplicar Colma Fix 32, el hormigón debe encontrarse limpio, exento de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas. La superficie de hormigón debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al hormigón sano, empleándose para ello chorro de agua y arena, escobilla de acero, puntos, etc.

La temperatura de la superficie para aplicar Colma Fix 32 debe estar comprendida entre 10-30 ºC. La colocación se puede realizar con brocha, rodillo o pulverizador adecuado al producto. El hormigón o mortero fresco debe ser aplicado una vez transcurrida 1 hora de aplicado Colma Fix 32 y antes de transcurridas 7 horas, a 20°C, a mayor temperatura este tiempo se acorta y con temperaturas menores se alarga. En todo caso, el producto debe estar fresco al tacto al vaciar el hormigón.

Las herramientas y los instrumentos deben ser limpiados inmediatamente después del empleo con diluyente a la piroxilina.

Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

2.2.2 Sikadur 32 Gel

Sikadur 32 GEL es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.

2.2.2.1 Aplicabilidad

- Como adhesivo estructural de hormigón fresco con hormigón endurecido.
- Como adhesivo entre elementos de: hormigón, piedra, mortero, acero, fierro, fibrocemento, madera.
- Adhesivo entre hormigón y mortero.

- En anclajes de pernos en hormigón o roca, donde se requiere una puesta en servicio rápida (24 horas).

Ventajas

- Fácil de aplicar
- Libre de solventes
- No es afectado por la humedad
- Altamente efectivo, aún en superficies húmedas
- Trabajable a bajas temperaturas
- Alta resistencia a tracción

Normas

- Sikadur 32 Gel está certificado como producto no tóxico por el Instituto de Salud Pública de Chile.

Datos Técnicos

- Densidad 1,6 Kg/dm^3
- Resistencia a compresión (A.S.T.M. D 695):

  1 día = 60 MPa.
  10 días = 80 MPa.

- Resistencia a flexión (A.S.T.M. C580):

  10 días = 34 MPa.

- Adherencia (A.S.T.M. C 882) = 13 MPa.

Como puente de adherencia, el consumo aproximado es de 0,3 a 0,5 Kg/cm^2, dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.

2.2.2.2 Preparación de las superficies

Al momento de aplicar Sikadur 32 GEL el hormigón debe encontrarse limpio, exento de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas.

La superficie de hormigón debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al hormigón sano eliminando totalmente la lechada superficial; esta operación se puede realizar con chorro de agua y arena, escobilla de acero, puntos, etc. La superficie a unir debe quedar rugosa.

Método de aplicación

Como puente de adherencia Sikadur 32 GEL se aplica con brocha, rodillo o pulverizado sobre la superficie preparada. En superficies húmedas asegurar la aplicación restregando con la brocha. El hormigón fresco debe ser vaciado antes de 3 horas a 20°C ó 1 hora a 30° C, de aplicado Sikadur 32 GEL. En todo caso, el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él.

Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias de control diferentes.

2.3 LECHADA DE CEMENTO

Es la sustancia que resulta de la mezcla de agua con cemento en porcentajes controlados comúnmente entre el 30 % al 40% de cemento, los mismos que dependen de la aplicación que se le quiera dar. Es muy utilizada en la construcción en diferentes tipos de refacciones tanto de fisuras o en el caso de que se requiera aumentar el canto de una pieza en para la adherencia entre hormigones a diferentes edades, otro uso muy común es el terminado fino que se le puede dar a las superficies lisas requeridas tanto para pisos y paredes después de haberse aplicado la capa de mortero requerida.

Se puede decir que es una pasta de cemento con un contenido mayor de agua.

2.3.1 Aplicabilidad

La leche de cemento tiene varios usos convencionales entre los cuales se pueden destacar:

- El curado de fisuras en losas.
- Adherir entre el hormigón seco con el hormigón fresco.
- Acabados en pisos.
- Acabado de paredes.

Entre otros, aunque no se cuenta con las especificaciones técnicas adecuadas su uso es muy común y su durabilidad es muy eficiente. Las ventajas que ofrece este material es que es muy económico y al alcance de todos.

Para el uso de La lechada de cemento se debe utilizar la protección adecuada como guantes y botas ya que es un material nocivo para la piel.

En este estudio de investigación la pasta de cemento o leche de cemento a un 30 % de contenido de cemento será evaluada como material adherente entre hormigones a diferentes edades dándole un uso más a este material esencial en la construcción.

2.4 HORMIGÓN

El hormigón o concreto es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando nos referimos a hormigón, generalmente es un cemento artificial, y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento portland. Los áridos proceden de la desintegración o trituración, natural o artificial de rocas y, según la naturaleza de las mismas, reciben el nombre de áridos silíceos, calizos, graníticos, etc. El árido cuyo tamaño sea superior a 4.75 mm se llama árido grueso o grava, mientras que el inferior a 4.75 mm se llama árido fino o arena. El tamaño de la grava influye en las propiedades mecánicas del hormigón.

La pasta formada por cemento y agua es la que confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento, mientras que el árido es un material inerte sin participación directa en el fraguado y endurecimiento del hormigón. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose diversas reacciones químicas de hidratación que lo convierten en una pasta maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, adquiriéndose un material de consistencia pétrea.

2.4.1 Características mecánicas

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para precisar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas de hormigón.

Para superar este inconveniente, se “Arma” el hormigón introduciendo barras de acero, conocido como hormigón armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero.

2.4.2 Características físicas del hormigón

Las principales características físicas del hormigón, en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a 2.350 kg/m^3
- Resistencia a compresión: de 150 a 500 kg/cm^2 (15 a 50 MPa) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 2.000 kg/cm^2 (200 MPa).
- Resistencia a tracción: Proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: Dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: Progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
    - De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana ¾ partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

2.4.3 Fraguado y endurecimiento

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama

fraguado y se identifica por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se aprecia de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracterice por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad sólo hay un único proceso de hidratación continúo.

2.4.4 Resistencia

Para comprobar que el hormigón colocado en obra tiene la resistencia requerida, en este caso 210 Kg/cm^2 a los 28 días, se rellenan con el mismo hormigón unos moldes cilíndricos normalizados y se calcula su resistencia en un laboratorio haciendo ensayos de rotura por compresión.

En el proyecto previo de los elementos, la Resistencia característica (f'_{ck}) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el hormigón que se ejecutará resistirá ese valor, se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

La Resistencia característica de proyecto (f'_{ck}) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a f'_{ck}, considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

2.4.5 Consistencia del hormigón fresco



Figura 2.1. Consistencia del hormigón fresco

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de consistencia en hormigón fresco mediante el Cono de Abrams que mide el asiento que se produce en una forma troncocónica normalizada cuando se desmolda.

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría.

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se crea cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la tabla siguiente:

Consistencia de los hormigones frescos		
Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca	0 - 2	Vibrado
Plástica	3 - 5	Vibrado
Blanda	6 - 9	Picado con barra
Fluida	10 - 15	Picado con barra
Líquida	16-20	Picado con barra

Cuadro 2.1. Consistencia de los hormigones frescos

Fuente: Código EHE

2.5 CEMENTO

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada Clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una pasta uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétrea, denominada hormigón (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México y parte de Suramérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil.

Los cementos son productos que amasados con agua fraguan y endurecen formándose nuevos compuestos resultantes de reacciones de hidratación que son estables tanto al aire como sumergidos en agua

El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinúas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétrea resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción y es utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón. Como cemento

hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

En el presente trabajo de se utilizará el cemento portland IP-30 que es el más aplicado en nuestro medio, que tiene como nombre cemento EL PUENTE.



Figura 2.2. Cemento EL PUENTE IP-30

Fuente: Elaboración propia

2.5.1 Características del cemento portland

Las propiedades más importantes del cemento son: Peso específico, finura de molido.

2.5.2 Peso especifico

El peso específico de los cementos portland suelen variar muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 3 y 3.15 gr/cm^3, esta limitación está establecida también por algunas normas (igual o mayor a 3 gr/cm^3) esta limitación por lo general se cumple.

2.5.3 Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que incluye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y endurecimiento. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0.01mm por lo que, si estos granos fuesen muy grandes, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy grandes (lo que resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible al envejecimiento tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. Pero siendo así que las resistencias mecánicas aumentan

con la finura, entonces se llega a lo siguiente: El cemento portland debe estar finamente molido, pero no en exceso.

2.6 ÁRIDOS

Se denomina árido al material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente.



Figura 2.3. Planta de seleccionadora de áridos

Fuente: Elaboración propia

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan el 70% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño.

El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena. Según Jiménez Montoya no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

Con áridos naturales rodados, los hormigones son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

En el presente trabajo se utilizará los áridos procedentes del rio Camacho - altura Calamuchita.

2.6.1 Propiedades de los agregados

2.6.1.1 Peso Unitario (PU)

Si el peso de una muestra de agregado, compuesto de varias partículas , se divide por el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente unitario se obtiene lo que se denomina como peso unitario del agregado o peso volumétrico.

El peso unitario es una propiedad física importante porque indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre diminuto sea, este menor será el volumen de vacíos entre partículas que hace que la mezcla sea más económica, porque habrá pequeña cantidad de huecos a ser llenados con pasta de cemento. Así mismo, mientras mayor sea el peso unitario habrá gran cantidad de granos, la cual depende de la granulometría, forma, textura y tamaño de los mismos.

Existen dos tipos de pesos unitarios que dependen del grado de compactación del agregado y se definen de la siguiente forma.

2.6.1.1.1 Peso Unitario suelto (PUS)

Se denomina PUS cuando para determinar se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela al ras con un enrasador. El concepto de PUS es significativo cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto.

El procedimiento de palear el agregado para llenar el recipiente y aprovechar la compactación que alcance con la caída libre desde la pala, es aprovechado para especificar el peso unitario suelto de agregados que tengan un tamaño máximo de 100 mm (4 pulgadas) o menos. La operación consiste en llenar el recipiente hasta que rebose, manejando una pala o cucharón, descargándose el agregado desde una altura que no exceda de 50 mm (2 pulgadas) sobre el borde del recipiente. Téngase el cuidado de prevenir hasta donde sea posible la segregación de las partículas de distintos tamaños que componen la muestra.

2.6.1.1.2 Peso Unitario compactado (PUC)

Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por lo tanto el valor de la

masa unitaria. El PUC es importante desde el punto de vista del diseño de mezclas ya que con el mismo se dispone el volumen absoluto de los agregados por cuanto estas van a estar sometidas a una compactación durante el proceso de colocación del concreto.

Compactación por varillado en el llenado del recipiente. El procedimiento de varillado es aplicable a agregados que tienen un tamaño máximo de 40 mm (1½ pulgadas) o menos.

Procedimiento. Llene el recipiente hasta una tercera parte del total y nivele la superficie con los dedos. Varille la capa de agregado con 25 golpes igualmente distribuidos sobre la superficie. Siga llenando el recipiente hasta dos terceras partes del total y otra vez nivele y varille como en la capa inicial. Finalmente llene el recipiente hasta el rebosamiento y varille como en las anteriores capas. Nivele la superficie del agregado con los dedos o con un enrasador, procurando compensar las pequeñas salientes de las piezas de agregado con las depresiones debajo de la línea de enrase.

En el varillado de la primera capa, no permita que la barra golpee fuertemente el fondo del recipiente. En el varillado de la segunda y tercera capas use solamente la fuerza suficiente para que la varilla llegue hasta la capa anterior.

2.6.2 Granulometría de los agregados

2.6.2.1 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.



Figura 2.4. Agregado grueso (grava)

Fuente: Elaboración propia

El agregado grueso estará formado por roca o grava de canto rodado obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como ser el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

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).

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, método Na2SO4)	máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	máx. 40

Cuadro 2.2. Requisitos de la norma ASTM para el agregado grueso

Fuente: Norma ASTM

El agregado grueso debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso y deben estar separados en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

Tamiz U.S.Standard	Dimensión de la malla (mm)		Porcentaje en peso que pasa por los tamices individuales	
-	-	19 mm	38 mm	51 mm
2”	50	-	100	100
1½”	38	-	95-100	95-100
1”	25	100	-	35-70
¾”	19	90-100	35-70	-
½”	13	-	-	10-30
3/8”	10	20-55	10-30	-
N° 4	4.8	0-10	0-5	0-5
N° 8	2.4	0-5	-	-

Cuadro 2.3. Granulometría de la norma ASTM C-33 para el agregado grueso

Fuente: Norma ASTM

Módulo de finura

El módulo de finura del agregado grueso, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura para el agregado grueso se calcula sumando los porcentajes acumulados de los tamices 11/2”, ¾”, 3/8”, N°4 + 500 y dividiendo el total entre 100

Es un indicador de la finura de un agregado: Cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

El rango del módulo de finura del agregado grueso es de 5.5 a 8.5

Tamaño máximo (TM)

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

Tamaño Máximo Nominal (TMN)

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo

porcentaje retenido acumulado es del l5% o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal y comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos.

- El TMN no debe ser superior que 1/5 de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta.
- El TMN no debe ser superior que 1/3 del espesor de una losa.
- El TMN no debe ser superior que ¾ del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

2.6.2.2 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.



Figura 2.5. Agregado fino (arena)
Fuente: Elaboración propia

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 general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos instaurados en la norma ASTM C-33, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz nº 200	(ASTM C 117)	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, método Na_2SO_4)	10%

Cuadro 2.4. Requisitos de la norma ASTM para el agregado fino

Fuente: Norma ASTM

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar tener la granulometría siguiente:

Tamiz U.S.Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa
N° 3/8”	9,52	100
N° 4	4,75	95 - 100
N° 8	2,36	80 - 100
N° 16	1,18	50 - 85
N° 30	0,60	25 - 60
N° 50	0,30	10 - 30
N° 100	0,15	2 - 10

Cuadro 2.5. Granulometría de la norma ASTM C-33 para el agregado fino

Fuente: Norma ASTM

Módulo de Finura

El módulo de finura del agregado fino, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes acumulados en las mallas siguientes: Número 4, 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive y dividiendo el total entre 100.

Es un indicador de la finura de un agregado: Cuanto superior sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El rango del módulo de finura de la arena es de 2.3 a 3.1

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina; y si el módulo se encuentra entre 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana. Y si el módulo es mayor de 3.1 se trata de una arena gruesa.

2.6.3 Peso específico

Se define en la dosificación de hormigón, como la relación del peso de la muestra de un material en el aire, al peso del agua desplazado por el mismo incluyendo sus poros permeables. Según sea que el peso en el aire se considera seco (en horno a peso constante) o en condición de saturado y superficie seca, el peso específico se refiere a una de esas condiciones.

El peso específico de los agregados, que expresa también como densidad al sistema Internacional de Unidades, adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es aconsejable practicar pruebas adicionales.

2.6.4 Porcentaje de absorción

Es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a de saturado superficialmente, se expresa generalmente en porcentaje:

$$\%\ \text{Absorción} = \frac{\text{Peso}_{sss} - \text{Peso}_{\text{seca}}}{\text{Peso}_{\text{seca}}} * 100$$

La absorción de los agregados se obtiene esencialmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masa se logra adquirir el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una cierta aplicación. Por ejemplo, cuando el agregado puede influir en el comportamiento del concreto para soportar heladas, se especifica un agregado con baja absorción (no mayor al 5 %), por el peligro de deterioro en el material debido al congelamiento del agua absorbida en el agregado. La fórmula de cálculo para la absorción de gravas es igualmente aplicable para las arenas.

2.6.5 Humedad superficial

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura y se las puede definir como:

$$\%\ \text{humedad} = \frac{\text{Peso}_{humedo} - \text{Peso}_{\text{seca}}}{\text{Peso}_{\text{seca}}} * 100$$

1. Secado al horno – Totalmente absorbente
2. Secado al aire – La superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. Saturado con superficie seca (SSS) – No absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

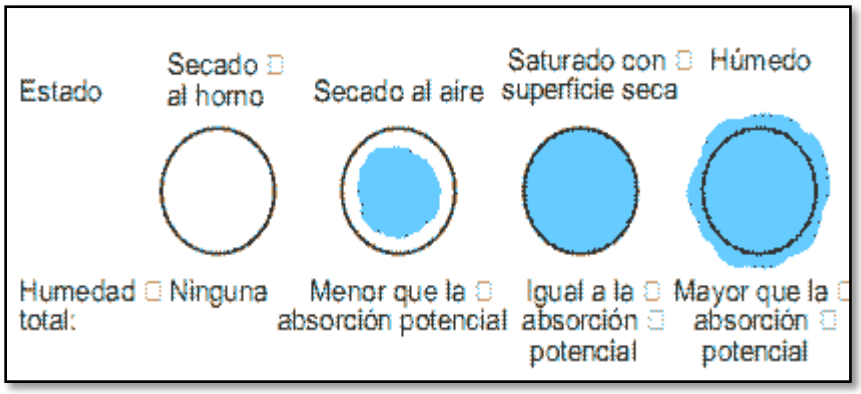


Figura 2.6. Condiciones de humedad de los agregados.

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a compresión y la trabajabilidad.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre principalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un encerrado máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

2.7 AGUA

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una pasta seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua.



Figura 2.7. Agua de amasado

Fuente: Elaboración propia

Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento.

Ambas, el agua destinada al amasado, como la destinada al curado deben ser aptas para cumplir su función. El agua de curado es muy importante que sea apta pues puede afectar más negativamente a las reacciones químicas cuando se está endureciendo el hormigón. Normalmente el agua apta suele coincidir con la potable y están normalizados una serie de parámetros que debe cumplir. Así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono.

2.8 DOSIFICACIÓN ACI-211.1

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuáles se especifican las condiciones de partida y la dosificación.

Determinación de la razón Agua/Cemento

El cuadro 2.6. Define la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente.

Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1)			
Resistencia promedio a compresión a 28 días		Razón agua/cemento (en masa)	
Mpa	Kg/cm^2	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	450	0,38	-
42	420	0,41	-
40	400	0,43	-
35	350	0,48	0,4
30	300	0,55	0,46
28	280	0,57	0,48
25	250	0,62	0,53
21	210	0,68	0,59
20	200	0,7	0,61
15	150	0,8	0,71
14	140	0,82	0,74

Cuadro 2.6. Determinación de la razón agua/cemento

Fuente: Norma ACI

Determinación de la fluidez

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia el cuadro 2.7. Este cuadro define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211,1)	
Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (cm)
Fundaciones armadas y bases	2 – 8
Fundaciones y muros de sub-estructura simple	2 – 8
Vigas y muros armados	2 – 10
Columnas de edificios	2 – 10
Pavimentos y losas	2 – 8
Hormigón masivo	2 – 8

Cuadro 2.7. Asentamientos de cono para diferentes tipos de construcción

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de agua

Se emplea el cuadro 2.8. que establece la cantidad de agua expresada en l/m3 de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo nominal especificado anteriormente.

Se debe distinguirse el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador. Esta misma parte de la tabla puede emplearse en el caso de haber previsto el uso de un aditivo plastificador.

Requerimientos aproximados para dosis de agua (l/m3) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1)								
Trabajabilidad (cm)	Tamaño máximo nominal del árido (mm)							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad de aire atrapado aproximado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)								
Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición extrema	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Cuadro 2.8. Determinación de la dosis de agua

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de cemento

La dosis de cemento se determina en base al coeficiente entre la dosis de agua especificada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$\mathrm{C[Kg}\,/\,m^3] = \frac{(\mathrm{W} + \mathrm{a})}{\mathrm{W}\,/\mathrm{C}}$$

Determinación de la dosis de grava

Se especifica a partir del cuadro 2.9. en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo nominal.

Volumen aparente de árido grueso seco por metro cubico de hormigón (ACI 211,1)				
Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso para distintos Módulos de finura de la arena.			
	2,4	2,6	2,8	3
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Cuadro 2.9. Determinación de la dosis de grava

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de arena

Método Volumétrico:

Se dispone partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, Af, está dada por:

$$A_f(Kg / m^3) = \gamma_f \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_G} + 10a\right)\right]$$

γf = densidad real o peso específico del árido fino (gr/cm³).

γg = densidad real o peso específico del árido grueso (gr/cm³).

γ = peso específico del cemento (gr/cm³).

Ag = dosis de árido grueso o grava (kg/m³).

a = dosis de aire (%)

C = dosis de cemento (kg/m³)

W = dosis de agua (kg/m³)

En el presente trabajo se eligió el método de la dosificación ACI 211.1 porque este método American Concrete Institute es más aplicado en el diseño de mezclas para edificaciones debido a que toma más en cuenta las propiedades de los agregados, con referencia al método de dosificación AASHTO que es más utilizado en el diseño de mezclas para la construcción de carreteras.

2.9 Elaboración de probetas.

La medida de la resistencia a flexión se efectúa por medio de pruebas estandarizadas. Por tanto las probetas serán elaboradas en vigas en función a la Norma **ASTM C 31/C 31M – 03a**

Las probetas consisten en vigas de concreto de 15 cm x 15 cm de lados y 60 cm de largo. La elaboración se lleva a cabo llenando un molde de madera bien impermeabilizado en 2 capas de igual altura con la muestra en estado fresco. Cada capa se apisona en diferentes sitios de la superficie del hormigón proporcionados con una varilla de 16mm de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud hasta que el hormigón tenga una apariencia suave y dejen de salir grandes burbujas de aire. La capa de fondo se debe compactar con toda su profundidad mientras que en la superior e intermedia, la varilla debe penetrar ligeramente la capa adyacente. Una vez terminada la compactación, se completa el molde con más mezcla y se alisa la superficie con un palustre o cualquier otra herramienta de acabado.



Figura 2.8. Modelo de probeta viga

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de probetas cilíndricas de control de resistencia a compresión del hormigón, una vez realizado el cono de Abrams se coloca la pasta en 3 capas cada capa con 25 golpes con la varilla en moldes cilíndricos de diámetro 15 cm y de altura 30 cm tal como se especifica en la norma para ensayos de rotura.

Pasada las 24 horas se procederá a quitar los moldes cilíndricos y realizar el curado de las probetas en agua.



Figura 2.9. Modelo de probeta cilíndrica

Fuente: Elaboración propia

2.10 Curado de probetas.

Luego del proceso de fraguado del concreto es necesario mantener el concreto tan saturado de agua como sea posible con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir así su máxima eficiencia.

Una vez desmoldadas las probetas, se transportan a un estanque lleno de agua evitando golpes a la probeta y así comenzar el proceso de curado mediante sumersión, se debe

procurar que las probetas no estén en contacto entre sí para un mejor proceso. Las probetas permanecerán en la cámara húmeda hasta el momento de realizar su correspondiente ensayo.

2.11 Ensayos a las probetas de hormigón

2.11.1 Flexión Simple

El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a flexión del hormigón endurecido, mediante la aplicación uniforme de carga en una probeta prismática a través de dos rodillos que trasmiten la presión perpendicular a la probeta apoyada sobre otros dos rodillos, todo esto en función a la norma **ASTM C 78** .

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. La resistencia a tracción por flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa).



Figura 2.10. Preparación de la probeta de viga

Fuente: Elaboración propia

El Módulo de Rotura es cerca del 10% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio. Además se realizará el cálculo de la resistencia a tracción que es la fuerza que intenta estirar un objeto para evaluar la trabajabilidad de la junta de

unión y agarre, el mismo que se puede determinar con los datos obtenidos del ensayo a flexión

La medida de la resistencia a tracción por flexión se efectúa por medio de pruebas estandarizadas. La información de datos para la rotura de probetas se basará en el procedimiento probabilístico de muestreo aleatorio simple, es decir cada medición tendrá una muestra de 11 unidades.

2.11.2 Compresión Simple

En términos generales la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñados bajo la suposición de que el concreto resiste únicamente esfuerzos de compresión; por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia compresión es el criterio de calidad y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos y términos de porcentajes de la resistencia a la compresión. La medida de la resistencia a la compresión se efectúa por medio de pruebas estandarizadas. La información de datos para la rotura de probetas se basará en el procedimiento probabilístico de muestreo aleatorio simple, es decir cada medición tendrá una muestra de 3 unidades debido a que solo es un ensayo para el control de la resistencia a compresión del hormigón.



Figura 2.10. Preparación de la probeta cilíndrica

Fuente: Elaboración propia

Para ambos ensayos la rotura de las probetas se llevará a cabo en el Laboratorio de Suelos y Hormigones de La Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Figura 2.11. Prensa para ensayos a flexión y compresión

Fuente: Elaboración propia

2.12 METODOLOGÍA PARA OBTENER LOS RESULTADOS

Una vez ensayadas las probetas de hormigón es indispensable determinar la Resistencia Característica mediante el empleo de la estadística básica por el método de Student de la siguiente manera:

$$f_{ck} = f_{cm} - k * s$$

Dónde:

Fck = Resistencia Característica (kg/cm2)

Fcm = Resistencia Promedio (kg/cm2)

k = Coeficiente de Student

s = Desviación estándar

3 MARCO PRÁCTICO.

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS

El área de estudio es la cuenca del Rio Camacho, está ubicada en el departamento de Tarija, al sur de Bolivia y cubre una superficie aproximada de 950 km^2, la parte baja y media de la cuenca corresponde a la sección municipal de Uriondo, mientras que la parte alta corresponde a Padcaya, dentro de las provincias Avilés y Arce respectivamente, Se encuentra a una altitud de 1,714 metros sobre el nivel del mar.

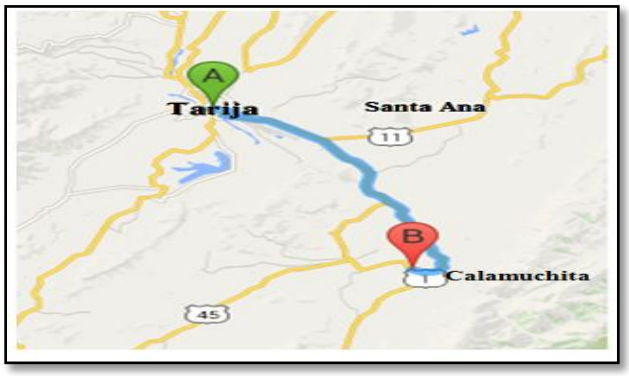


Figura 3.1 Ubicación del área de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Se trata de materiales de la orillas del rio, por lo tanto los áridos son de canto rodado.

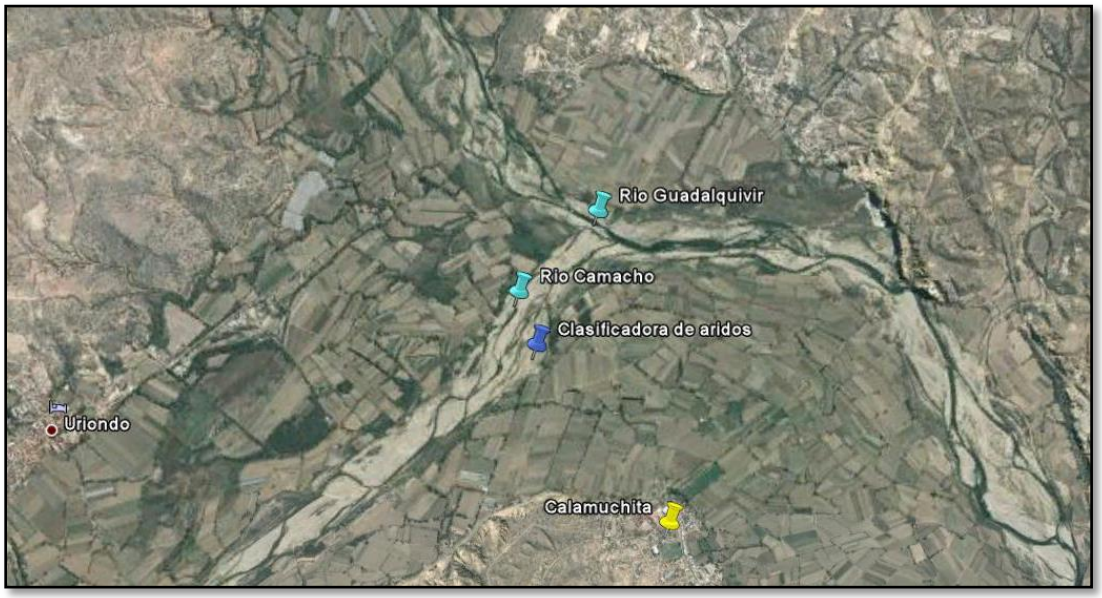


Figura 3.2 Ubicación de planta clasificadora
Fuente: Elaboración propia

3.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS

3.3.1 Muestreo de grava y arena

Se lo realizó mediante una clasificadora de áridos está ubicada a orillas del rio Camacho en la comunidad de Calamuchita. Perteneciente a una empresa que está ejecutando obras civiles en la provincia Uriondo. De la cual logramos conseguir una cantidad representativa de material para realizar la investigación.



Figura 3.3 Muestreo de los materiales pétreos
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Muestreo del cemento

El cemento “EL PUENTE” es conseguido de las agencias situadas en nuestra ciudad

3.4 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN

3.4.1 Granulometría de la grava

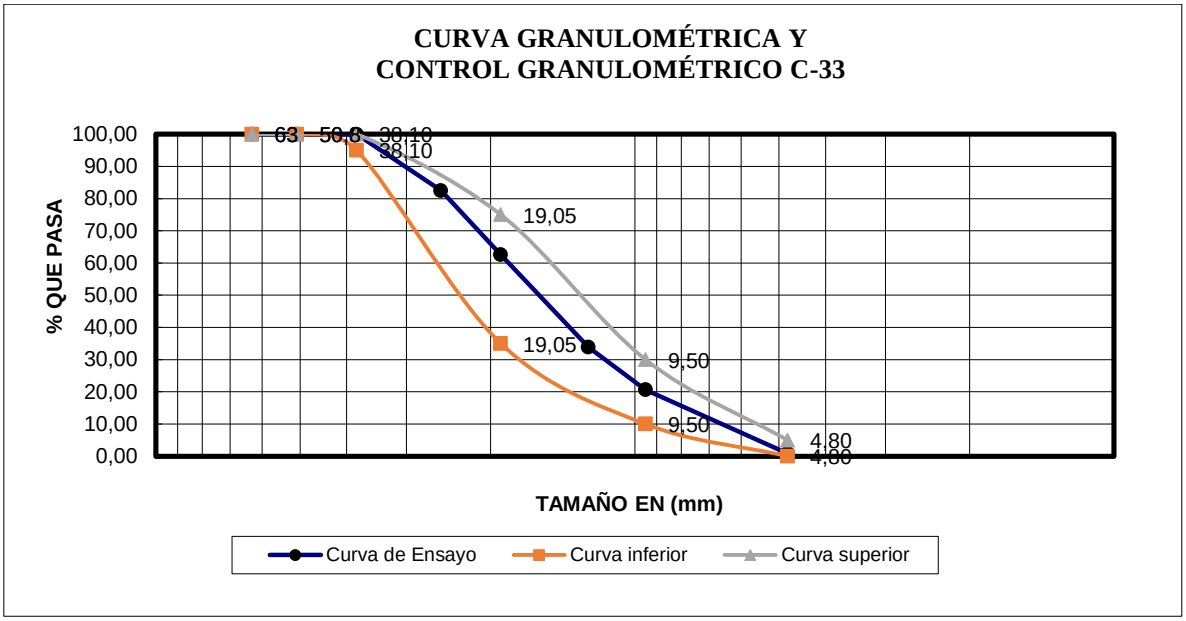
La granulometría de la grava se lo realizó utilizando los tamices especificados por la norma ASTM.



Figura 3.4 Juego de Tamices
Fuente: Elaboración propia

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	**100,00**
2	50,8	0,00	0,00	0,00	**100,00**
1 1 /2	38,10	0,00	0,00	0,00	**100,00**
1	25,40	2624,60	2624,60	17,50	**82,50**
3/4	19,05	2987,90	5612,50	37,42	**62,58**
1/2	12,50	4309,90	9922,40	66,15	**33,85**
3/8	9,50	1978,50	11900,90	79,34	**20,66**
Nº4	4,80	2971,80	14872,70	99,15	**0,85**
Nº8	2,38	123,80	14996,50	99,98	**0,00**

Cuadro 3.1. Granulometría de la grava
Fuente: Elaboración propia



Cuadro 3.2. Curva granulométrica de la grava
Fuente: Elaboración propia

La granulometría de la grava cumple con los parámetros especificados por la norma ASTM C-33. (Ver anexos)

Tamaño máximo de la grava

$$\mathrm{TM} = 1\ 1/2"$$

Tamaño máximo nominal de la grava

$$\mathrm{TMN} = 1"$$

3.4.2 Peso unitario de la grava

Método de golpeado

Se realizó en un molde 14 lt. de volumen y se apisono en 3 capas, cada con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM.



Figura 3.5 Molde cilíndrico de 14 lt.
Fuente: Elaboración propia

MUESTRA Nº	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm^3)	PESO RECIPIENTE + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm^3)
1	5655,00	9620,00	22260,00	16605,00	1,726
2	5655,00	9620,00	22325,00	16670,00	1,733
3	5655,00	9620,00	22280,00	16625,00	1,728
				PROMEDIO	**1,729**

Cuadro 3.3. Peso unitario de la grava (golpeado)
Fuente: Elaboración propia

$$\mathrm{P.U.C} = 1.729\ \mathrm{gr/cm^3}$$

Método de traspaleo

Se realizó dejando caer la grava desde una altura de 5cm por encima del molde.

MUESTRA Nº	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm^3)	PESO RECIPIENTE + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm^3)
1	5655,00	9620,00	21680,00	16025,00	1,666
2	5655,00	9620,00	21730,00	16075,00	1,671
3	5655,00	9620,00	21820,00	16165,00	1,680
				PROMEDIO	**1,672**

Cuadro 3.4. Peso unitario de la grava (traspaleo)
Fuente: Elaboración propia

$$P.U.S = 1.672\ gr/cm^3$$

3.4.3 Módulo de finura de la grava

El módulo de finura se encuentra dentro del rango especificado por la norma ACI. (5.5 – 8.5)

$$MF = \frac{(\%)Ret.Acum(1\frac{1}{2} + 3/4 + 3/8 + N°4 + 500)}{100}$$

$$MF = 7.16$$

3.4.4 Peso específico y absorción de la grava

Se lo ejecutó como se explica en la normas ASTM.



Figura 3.6. Equipo para peso específico grava
Fuente: Elaboración propia

MUESTRA Nº	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm^3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm^3)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm^3)	% DE ABSORCIÓN
1	5106,20	5165,00	3190,00	2,59	2,62	2,66	1,15
2	5117,40	5192,70	3215,00	2,59	2,63	2,69	1,47
3	5159,00	5224,70	3225,00	2,58	2,61	2,67	1,27
			PROMEDIO	**2,59**	**2,62**	**2,68**	**1,31**

Cuadro 3.5. Peso Específico de la grava
Fuente: Elaboración propia

El peso específico aparente está dentro del rango especificado por la norma ACI. (2.1-2.9gr/cm³)

$$\text{P. E. A} = 2.68\ \text{gr/cm}^3$$

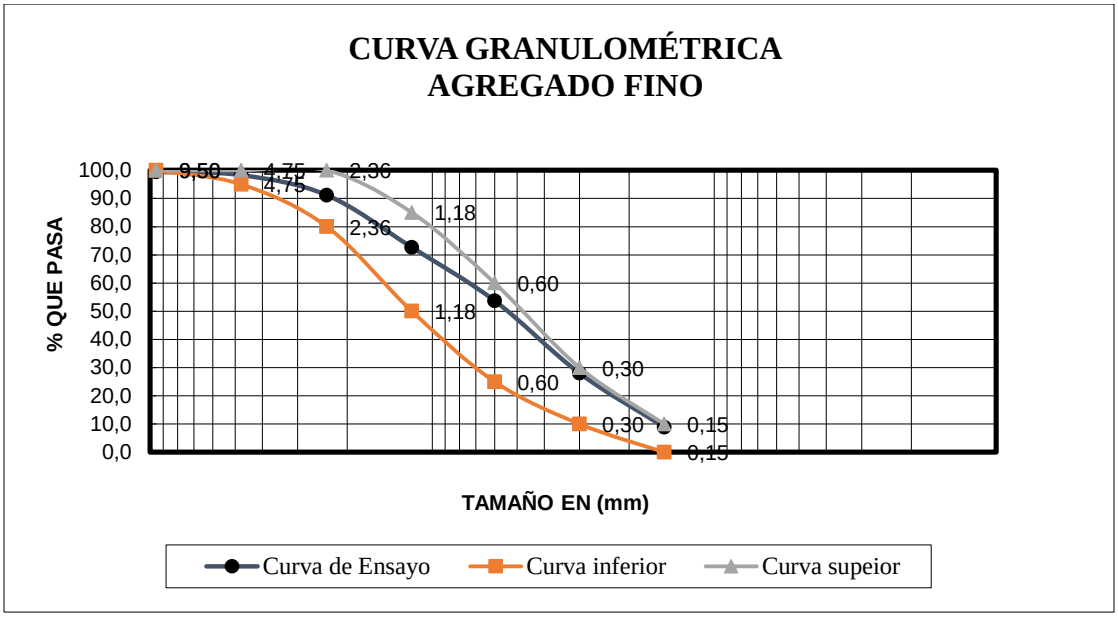
La absorción de la grava está dentro del rango especificado por la norma ACI. (0.2 - 4 %)

$$\text{Absorcion}\ (\%) = 1.31$$

3.4.5 Granulometría de la arena

Peso Total (gr.)		**1500**			
Tamices	**tamaño (mm)**	**Peso Retenido**	**Retenido Acumulado**	**% Retenido Acumulado**	**% que pasa del total**
3/8	9,50	8,70	8,70	0,58	**99,4**
Nº4	4,75	16,87	25,57	1,70	**98,3**
Nº8	2,36	106,77	132,34	8,82	**91,2**
Nº16	1,18	277,77	410,11	27,34	**72,7**
Nº30	0,60	284,17	694,29	46,29	**53,7**
Nº50	0,30	385,37	1079,66	71,98	**28,0**
Nº100	0,15	287,07	1366,73	91,12	**8,9**
Nº200	0,07	131,47	1498,20	99,88	**0,1**

Cuadro 3.6. Granulometría de la arena
Fuente: Elaboración propia



Cuadro 3.7. Curva granulométrica de la arena
Fuente: Elaboración propia

La granulometría de la arena cumple con los parámetros especificados por la norma ASTM C-33.

3.4.6 Peso unitario de la arena

Método de golpeado

Se realizó en un molde 3 lt de volumen y se apisono en 3 capas, cada con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM.



Figura 3.7 Molde cilíndrico de 3 lt
Fuente: Elaboración propia

MUESTRA Nº	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm^3)	PESO RECIPIENTE. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm^3)
1	2605,00	3010,00	8075,00	5470,00	1,817
2	2605,00	3010,00	7975,00	5370,00	1,784
3	2605,00	3010,00	7993,00	5388,00	1,790
				PROMEDIO	**1,797**

Cuadro 3.8. Peso unitario de la arena (golpeado)
Fuente: Elaboración propia

$$P.U.C = 1.797\ gr/cm^3$$

Método de traspaleo

Se realizó dejando caer la arena desde una altura de 5cm por encima del molde.

MUESTRA Nº	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm^3)	PESO RECIPIENTE + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm^3)
1	2605,00	3010,00	7475,00	4870,00	1,618
2	2605,00	3010,00	7430,00	4825,00	1,603
3	2605,00	3010,00	7450,00	4845,00	1,610
				PROMEDIO	**1,610**

Cuadro 3.9. Peso unitario de la arena (traspaleo)
Fuente: Elaboración propia

$$P.U.S = 1.610\ gr/cm^3$$

3.4.7 Módulo de finura de la arena

Según la norma ACI se trata de una arena mediana.

$$MF = \frac{(\%)\,Ret.Acum(3/8 + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}{100}$$

$$MF = 2.48$$

3.4.8 Peso específico y absorción de la arena

Se realizó siguiendo el procedimiento especificados por las normas ASTM.



Figura 3.8 Matraz graduado para peso específico aparente de la arena
Fuente: Elaboración propia

MUESTRA Nº	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRAZ (gr)	MUESTRA + MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm^3)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm^3)	P. E. APARENTE (gr/cm^3)	% DE ABSORCIÓN
1	500,3	165,6	977,1	311,20	493,90	500,00	2,62	2,65	2,70	1,28
1	500	165,6	976,7	311,10	492,50	500,00	2,61	2,65	2,71	1,50
1	500,2	165,6	975,1	309,30	492,50	500,00	2,58	2,62	2,69	1,54
						PROMEDIO	**2,60**	**2,64**	**2,70**	**1,44**

Cuadro 3.10. Peso Específico de la arena
Fuente: Elaboración propia

El peso específico aparente está dentro del rango especificado por la norma ACI. (2.2-2.7gr/cm³)

$$\text{P. E. A} = 2{,}70\ \text{gr/cm}^3$$

La absorción de la arena está dentro del rango especificado por la norma ACI. (0.2 - 2 %)

$$\text{Absorcion}\ (\%) = 1{,}44$$

3.4.9 Peso específico del cemento

Al ser un material elaborado en industrias certificadas en base a normas establecidas, se utilizó el valor del peso específico indicado en las especificaciones técnicas del producto.

El Peso Específico certificado por la NB 064 es igual a 3,14 g/cm^3.



Figura 3.9. Cemento EL PUENTE IP-30
Fuente: Elaboración propia

3.5 DOSIFICACIÓN ACI-211.1

Datos:

Resistencia a la compresión a los 28 días	210	kg/cm^2
Peso específico del cemento	3,14	g/cm^2

Peso específico aparente	
Arena(g/cm^2)=	2,70
Grava(g/cm^2)=	2,68

TM (mm)=	38,1
TMN (mm)=	25,4

Peso Unitario compactado	
Arena(g/cm^2)=	1,80
(bo)Grava(g/cm^2)=	1,73

% de Absorción	
Arena (%)=	1,44
Grava (%)=	1,31

Peso Unitario suelto	
Arena(g/cm^2)=	1,61
(b)Grava(g/cm^2)=	1,67

Contenido de Humedad	
Arena (%)=	4
Grava (%)=	2

Modulo de Finura	
Arena=	2,48
Grava=	7,16

Perdidas	
%	0

Dosificación:

Para vigas con exposición a la intemperie en condiciones normales

Asentamiento (cm)=	7,5
Tamaño Nominal Máximo(mm)=	38,1
Contenido de aire (%)=	1
Agua de mezclado (lt/m^3) =	181

Resistencia a Diseño

Desviación standart "ds" (kg/cm^2) =	20
fcr=fck+1,34 ds =	236,8
fcr=fck+2,33 ds-35 =	221,6
Relación Agua Cemento =	0,638

Contenido de cemento

cemento (kg/m^3)=	283,750

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Volumen de agregado grueso (VAG)=	0,7
Peso del agregado grueso (kg/m30)=	1210,326

Volumen de materiales sin considerar el agregado fino

Material	Peso seco	P. especifico	Volumen
Agua(lt/m^3)	181	1000	0,181
Cemento(kg/m^3)	283,750	3143,95	0,0903
Grava(kg/m^3)	1210,326	2677,36186	0,4521
Aire(%)	1		0,01
		(i)Total=	0,7333

Determinación del volumen de agregado fino

Vol. de agregado fino(m^3)=1-i=	0,2667

Determinación del agregado fino

Peso agregado fino(kg/m^3)=	720,6498

Diseño en estado seco

Material	**Peso**
Agua (lit/m^3)	181
Cemento (kg/m^3)	283,750
Grava (kg/m^3)	1210,326
Arena (kg/m^3)	720,6498
Aire (%)	1

Relación

Cemento	**Arena**	**Grava**
1	2,54	4,27

Corrección por humedad

Para agregados

Arena (kg/m^3) =	749,48
Grava (kg/m^3) =	1234,53

Para agua

Agua en agregado fino (lit/m^3)=	-28,83
Agua en agregado grueso (lit/m^3) =	-24,21
Total agua corregida (lit/m^3) =	127,97

Cantidad de material para una probeta de viga V= 0,0135 m^3

Material	**Peso**
Agua (lit/m^3)	1,73
Cemento (kg/m^3)	3,83
Grava (kg/m^3)	16,67
Arena (kg/m^3)	10,12

Cuadro 3.11. Dosificación del hormigón convencional
Fuente: Elaboración propia

Procedimiento que se desarrolló en el laboratorio para la realización de los ensayos

Se realizó el mezclado de la grava, arena, cemento y agua mediante una mezcladora para lograr la distribución homogénea de los mismos.



Figura 3.10. Maquina mezcladora
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la pasta de hormigón se procedió a efectuar el ensayo de cono de Abrams para ver el asentamiento que sufre la pasta.

Especificación	**Asentamientos**
Convencional	8 cm



Figura 3.11. Ensayo de cono de Abrams del hormigón patrón
Fuente: Elaboración propia

Una vez ejecutado el cono de Abrams se procedió a colocar la pasta en 2 capas, cada capa con la cantidad de golpes con la varilla necesarias para que la mezcla sea homogénea en moldes cúbicos de lado 15cm x 15cm y de largo 60 cm tal como se especifica en la norma

para ensayos de rotura. El mismo que se realizó en dos etapas, la primera hasta un tercio de viga dejando un ángulo de espera de 45º para realizar el proceso de adherencia, esta inclinación está en función a las fisuras en las vigas de hormigón armado debido al esfuerzo cortante por tracción y por cortante/flexión ambas ocasionadas por falla del hormigón al haber excedido su resistencia a tracción máxima. Después de los 28 días se completó los dos tercios de viga faltante utilizando el aditivo y el método correspondiente para mejorar la adherencia.



Figura 3.12. Pasta de hormigón colocada para completar el molde
Fuente: Elaboración propia

Pasada las 24 horas se procedió a quitar los moldes cilíndricos y realizar el curado de las probetas en agua como se muestra en la figura.



Figura 3.13. Curado de probetas en agua
Fuente: Elaboración propia

La rotura de probetas se la realizó a los 28 días de edad del hormigón mediante el equipo que se muestra en la figura.



Figura 3.14. Equipo de rotura de probetas
Fuente: Elaboración propia

Una vez ejecutado el cono de Abrams se procedió a colocar la pasta en 3 capas cada capa con 25 golpes con la varilla en moldes cilíndricos de diámetro 15 cm y de altura 30 cm tal como se especifica en la norma para ensayos de rotura.



Figura 3.15. Pasta de hormigón colocada en moldes cilíndricos
Fuente: Elaboración propia

Pasada las 24 horas se procedió a quitar los moldes cilíndricos y efectuar el curado de las probetas en agua. La rotura de probetas se la realizó a los 28 días de edad del hormigón mediante el equipo que se muestra en la figura.



Figura 3.16. Equipo de rotura de probetas
Fuente: Elaboración propia

3.6 Ensayo de Resistencia

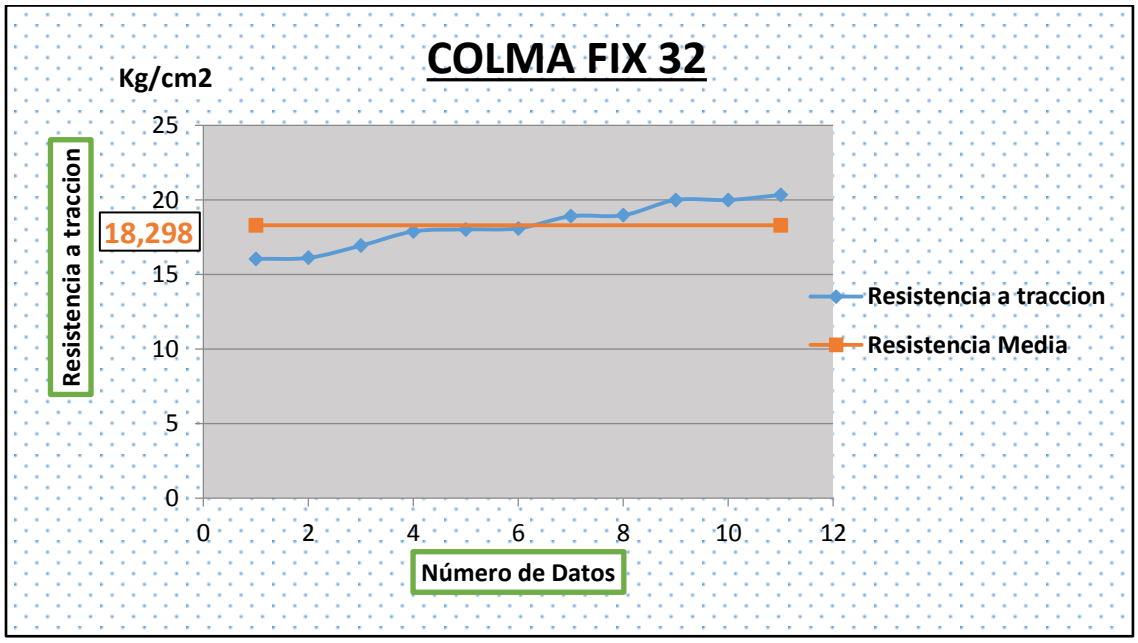
Determinación de la resistencia a tracción por flexión de las vigas con diferentes tipos de junta y para las vigas patrón, para realizar un evalúo de la junta.

- F = Carga directa aplicada con la prensa de flexo tracción.
- a = Dimensión o lado de la sección de la viga.
- fct,f = Resistencia a flexo tracción.
- fct = Resistencia a tracción.

$$f_{ct} = \left(\frac{3 * F}{a^2} \right) * 0.5$$

Vigas con junta de Aditivo químico (Colma Fix 32)

Prob. Nº	Especificación	Identificación	Fecha de Vaciado	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Tracción por flexion (Kg/cm^2)
1	Probeta colmafix	2A	26/04/2015	29	15	26,5	2703,00	18,02
2	Probeta colmafix	2B	26/04/2015	29	15	26,3	2682,60	17,88
3	Probeta colmafix	2C	26/04/2015	29	15	29,9	3049,80	20,33
4	Probeta colmafix	2D	26/04/2015	29	15	27,9	2845,80	18,97
5	Probeta colmafix	2E	26/04/2015	29	15	27,8	2835,60	18,90
6	Probeta colmafix	2F	26/04/2015	29	15	29,4	2998,80	19,99
7	Probeta colmafix	2G	26/04/2015	29	15	29,4	2998,80	19,99
8	Probeta colmafix	2H	26/04/2015	29	15	23,7	2417,40	16,12
9	Probeta colmafix	2I	26/04/2015	29	15	23,6	2407,20	16,05
10	Probeta colmafix	2J	26/04/2015	29	15	24,9	2539,80	16,93
11	Probeta colmafix	2K	26/04/2015	29	15	26,6	2713,20	18,09



Cuadro 3.12. Gráfica de resistencia a tracción con junta Colma fix 32
Fuente: Elaboración propia

Eliminando los valores extremos.

$$MEDIA = X = 18.298\ kg/cm^2$$

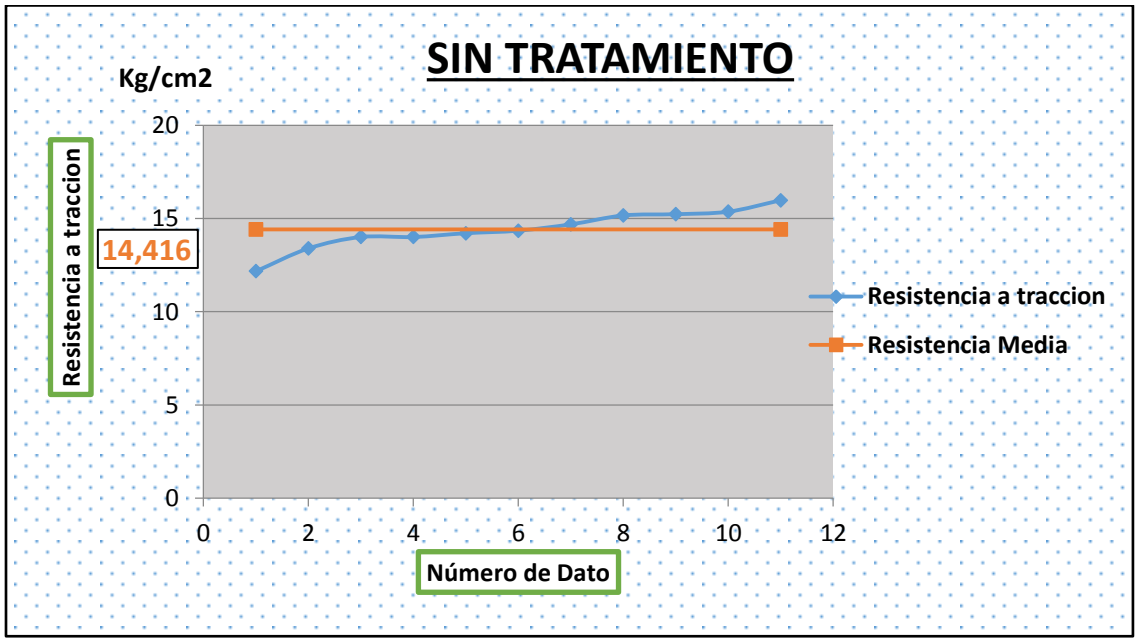
$$DESV\ STD = s = 1.436$$

$$COEF.STUDENT\ \ = K = 1.80$$

$$MEDIA\ CARACTERISTICA = Mk = \ 15.714\ kg/cm^2$$

Vigas sin tratamiento de junta

Prob. Nº	Especificación	Identificación	Fecha de Vaciado	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Tracción por flexion (Kg/cm2)
1	Sin tratamiento	5A	28/04/2015	28	15	19,7	2009,40	13,40
2	Sin tratamiento	5B	28/04/2015	28	15	17,9	1825,80	12,17
3	Sin tratamiento	5C	28/04/2015	28	15	20,6	2101,20	14,01
4	Sin tratamiento	5D	28/04/2015	28	15	20,6	2101,20	14,01
5	Sin tratamiento	5E	28/04/2015	28	15	21,1	2152,20	14,35
6	Sin tratamiento	5F	28/04/2015	28	15	22,3	2274,60	15,16
7	Sin tratamiento	5G	28/04/2015	28	15	21,6	2203,20	14,69
8	Sin tratamiento	5H	28/04/2015	28	15	22,4	2284,80	15,23
9	Sin tratamiento	5I	28/04/2015	28	15	23,5	2397,00	15,98
10	Sin tratamiento	5J	28/04/2015	28	15	20,9	2131,80	14,21
11	Sin tratamiento	5K	28/04/2015	28	15	22,6	2305,20	15,37



Cuadro 3.13. Gráfica de resistencia a tracción sin tratamiento de junta
Fuente: Elaboración propia

Eliminando los valores extremos.

$$MEDIA = X = 14.416\ kg/cm^2$$

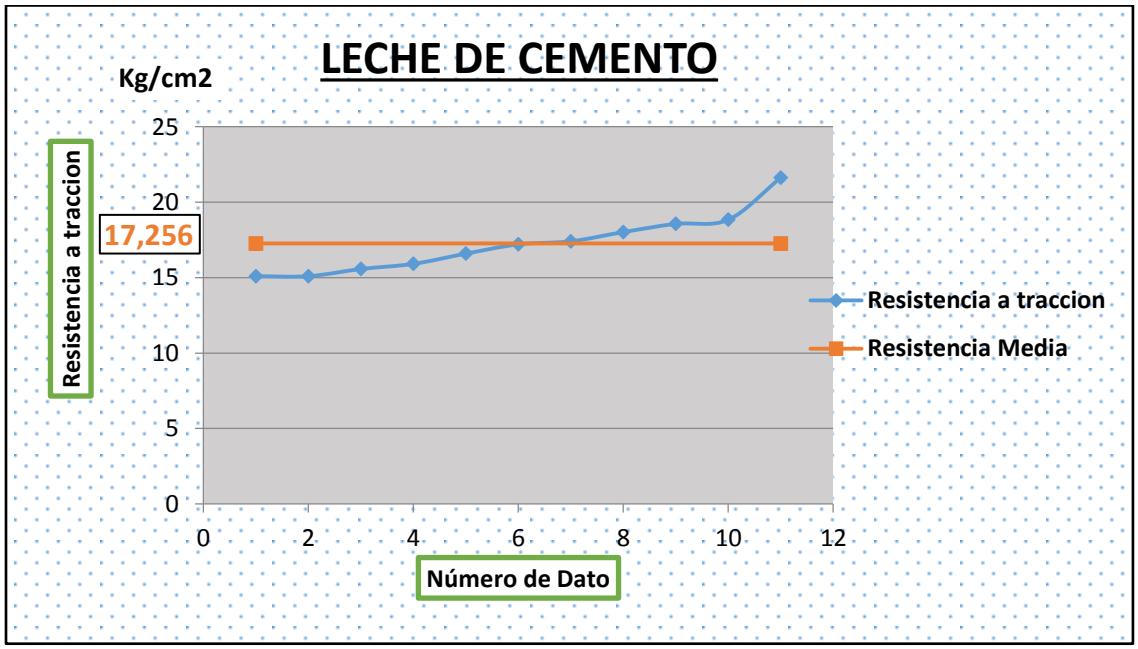
$$DESV\ STD = s = 1.005$$

$$COEF.STUDENT\ \ = K = 1.80$$

$$MEDIA\ CARACTERISTICA = Mk = \ 12.607\ kg/cm^2$$

Vigas con junta de Lechada de cemento

Prob. Nº	Especificación	Identificación	Fecha de Vaciado	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Tracción por flexión (Kg/cm2)
1	Probeta cemento	2A	26/04/2015	30	15	22,9	2335,80	15,57
2	Probeta cemento	2B	26/04/2015	30	15	27,7	2825,40	18,84
3	Probeta cemento	2C	26/04/2015	30	15	23,4	2386,80	15,91
4	Probeta cemento	2D	26/04/2015	30	15	24,4	2488,80	16,59
5	Probeta cemento	2E	26/04/2015	30	15	22,2	2264,40	15,10
6	Probeta cemento	2F	27/04/2015	29	15	27,3	2784,60	18,56
7	Probeta cemento	2G	28/04/2015	28	15	31,8	3243,60	21,62
8	Probeta cemento	2H	26/04/2015	30	15	25,6	2611,20	17,41
9	Probeta cemento	2I	26/04/2015	30	15	22,2	2264,40	15,10
10	Probeta cemento	2J	26/04/2015	30	15	25,3	2580,60	17,20
11	Probeta cemento	2K	26/04/2015	30	15	26,5	2703,00	18,02



Cuadro 3.14. Gráfica de resistencia a tracción con junta Leche de Cemento
Fuente: Elaboración propia

Eliminando los valores extremos.

$$MEDIA = X = 17.256\ kg/cm^2$$

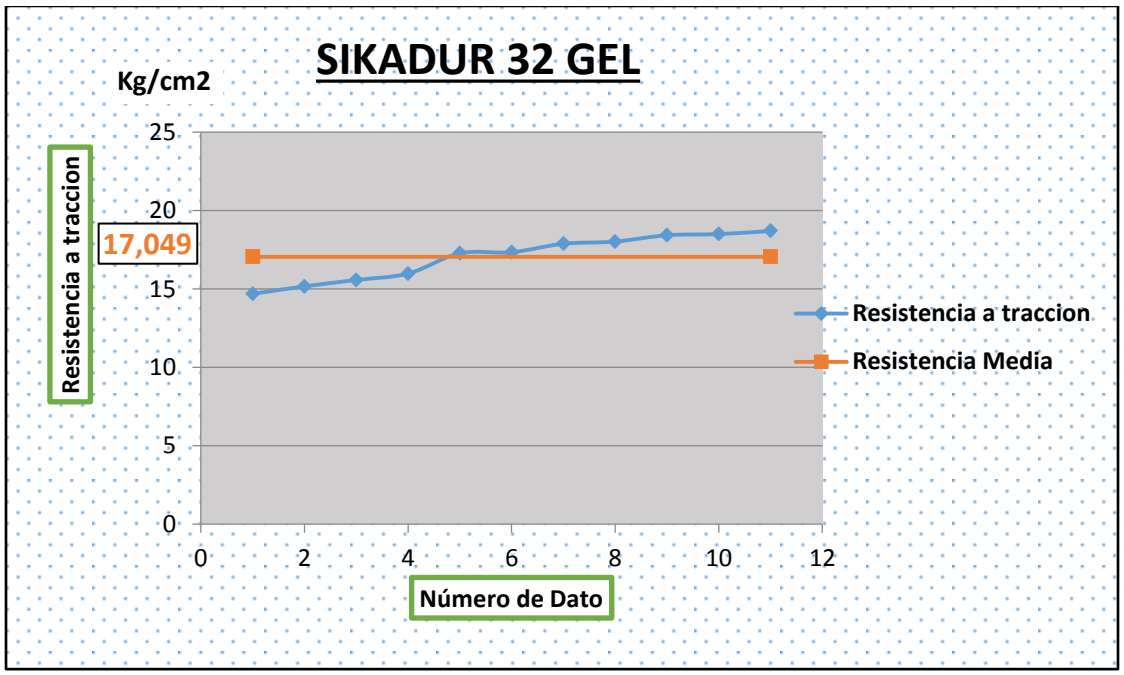
$$DESV\ STD = s = 1.866$$

$$COEF.STUDENT\ \ = K = 1.80$$

$$MEDIA\ CARACTERISTICA = Mk = \ 13.907\ kg/cm^2$$

Vigas con junta de Aditivo químico (Sikadur 32 Gel)

Prob. Nº	Especificación	Identificación	Fecha de Vaciado	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Tracción por flexión (Kg/cm2)
1	Probeta sikadur	4A	27/04/2015	29	15	25,5	2601,00	17,34
2	Probeta sikadur	4B	27/04/2015	29	15	27,2	2774,40	18,50
3	Probeta sikadur	4C	27/04/2015	29	15	27,5	2805,00	18,70
4	Probeta sikadur	4D	27/04/2015	29	15	23,5	2397,00	15,98
5	Probeta sikadur	4E	27/04/2015	29	15	27,1	2764,20	18,43
6	Probeta sikadur	4F	27/04/2015	29	15	26,5	2703,00	18,02
7	Probeta sikadur	4G	27/04/2015	29	15	22,3	2274,60	15,16
8	Probeta sikadur	4H	27/04/2015	29	15	25,4	2590,80	17,27
9	Probeta sikadur	4I	27/04/2015	29	15	21,6	2203,20	14,69
10	Probeta sikadur	4J	27/04/2015	29	15	22,9	2335,80	15,57
11	Probeta sikadur	4K	27/04/2015	29	15	26,3	2682,60	17,88



Cuadro 3.15. Gráfica de resistencia a tracción con junta Sikadur 32 gel
Fuente: Elaboración propia

Eliminando los valores extremos.

$$MEDIA = X = 17.049\ kg/cm^2$$

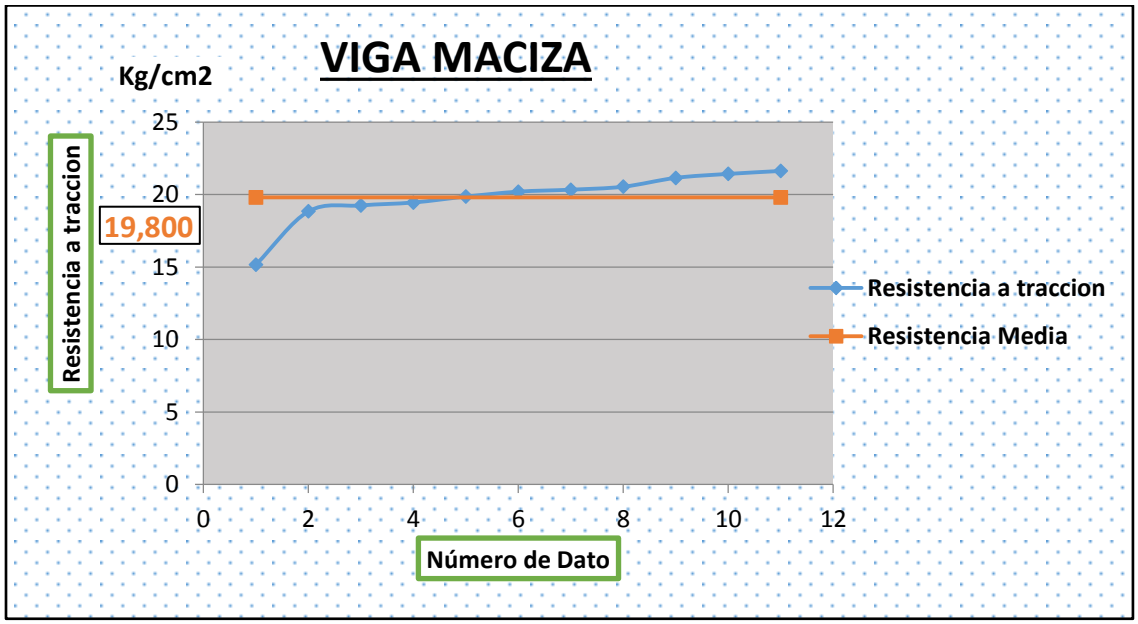
$$DESV\ STD = s = 1.38$$

$$COEF.STUDENT\ \ = K = 1.80$$

$$MEDIA\ CARACTERISTICA = Mk = \ 14.566\ kg/cm^2$$

Vigas macizas

Prob. Nº	Especificación	Identificación	Fecha de Vaciado	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Tracción por flexión (Kg/cm^2)
1	Probeta Patrón	1A	25/04/2015	30	15	27,7	2825,40	18,84
2	Probeta Patrón	1B	25/04/2015	30	15	29,7	3029,40	20,20
3	Probeta Patrón	1C	25/04/2015	30	15	31,1	3172,20	21,15
4	Probeta Patrón	1D	25/04/2015	30	15	29,2	2978,40	19,86
5	Probeta Patrón	1E	25/04/2015	30	15	28,3	2886,60	19,24
6	Probeta Patrón	1F	25/04/2015	30	15	22,3	2274,60	15,16
7	Probeta Patrón	1G	25/04/2015	30	15	31,5	3213,00	21,42
8	Probeta Patrón	1H	25/04/2015	30	15	31,8	3243,60	21,62
9	Probeta Patrón	1I	25/04/2015	30	15	28,6	2917,20	19,45
10	Probeta Patrón	1J	25/04/2015	30	15	30,2	3080,40	20,54
11	Probeta Patrón	1K	25/04/2015	30	15	29,9	3049,80	20,33



Cuadro 3.16. Gráfica de resistencia a tracción en vigas macizas
Fuente: Elaboración propia

Eliminando los valores extremos.

$$MEDIA = X = 19.800\ kg/cm^2$$

$$DESV\ STD = s = 1.695$$

$$COEF.STUDENT\ \ = K = 1.80$$

$$MEDIA\ CARACTERISTICA = Mk = \ 16.749\ kg/cm^2$$

Determinación de la resistencia a compresión del hormigón.

ELEMENTO	Identificación	Resistencia 28 días (kg/cm^2)
Probeta Patrón	1	222,68
Probeta Patrón	2	230,25
Probeta Patrón	3	226,67
Resistencia media a compresión		**226,53**

Cuadro 3.17. Resistencia a Compresión
Fuente: Elaboración propia

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN ESTADO FRESCO

4.1.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad se basa en el ensayo del cono de Abrams. Donde nos indica que la pasta del hormigón convencional es una pasta blanda con un asentamiento de 8 cm que es lo que se esperaba según datos de dosificación (7,5cm) para una resistencia de 210 kg/cm^2.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Ensayo a compresión

Las probetas cilíndricas alcanzaron una resistencia media de 226,53 kg/cm^2 mayor a lo esperado que es 210 kg/cm^2 , esto se debe a que se realizó un control muy estricto al momento de dosificar y los agregados eran bien lavados, por lo que el hormigón cuenta con las condiciones necesarias para realizar el análisis de la junta con aditivo.

4.2.2 Ensayo a flexión

La resistencia a la tracción por flexión o Módulo de Rotura para los diferentes tipos de tratamientos de junta con materiales aditivos diferentes son:

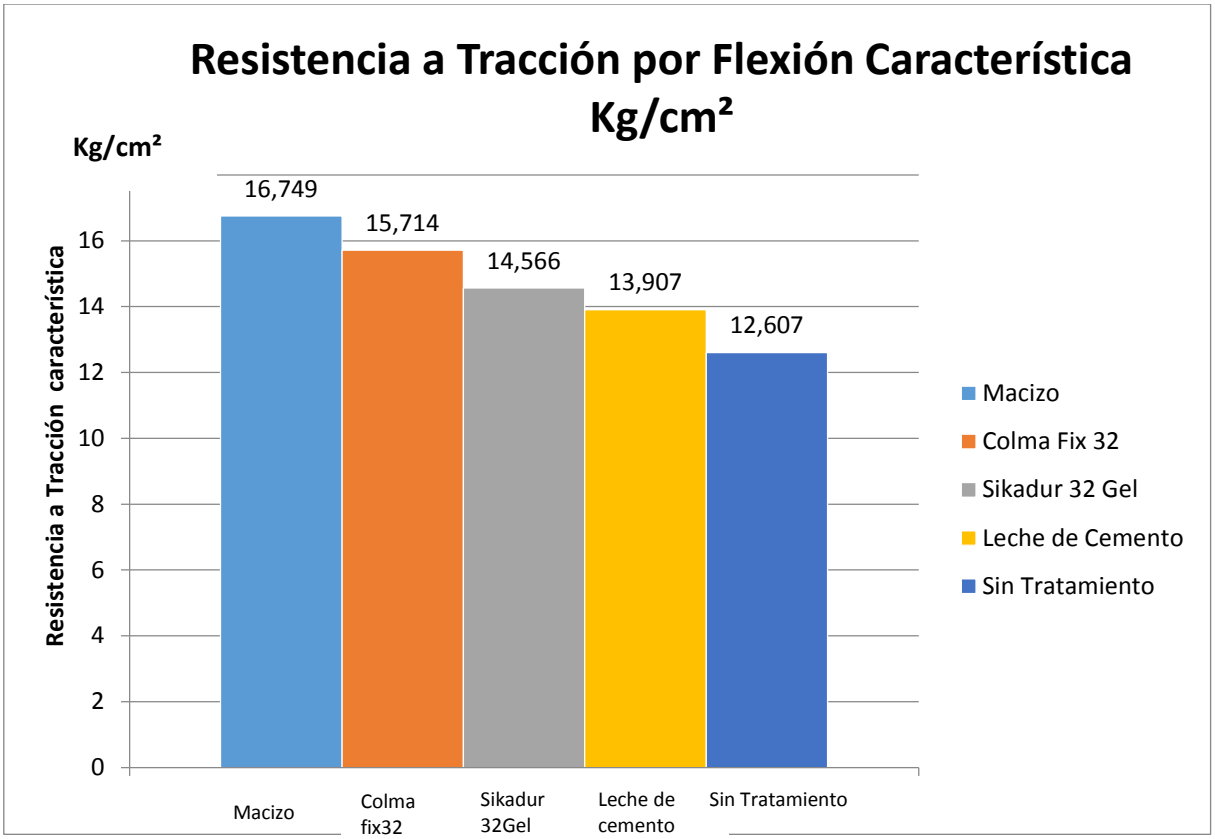
ADITIVO PARA JUNTA	RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN MEDIA (Kg/cm^2)	DESV. STD.	COEF. DE STUDENT "K"	RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Kg/cm^2)
Macizo	19,800	1,695	1,800	**16,749**
Sin Tratamiento	14,416	1,005	1,800	**12,607**
Colma Fix 32	18,298	1,460	1,800	**15,714**
Leche de Cemento	17,256	1,866	1,800	**13,907**
Sikadur 32 Gel	17,049	1,380	1,800	**14,566**

Cuadro 4.1. Resistencia a Tracción por flexión característica
Fuente: Elaboración propia

Las vigas con junta tratada con los aditivos Colma Fix 32, Sikadur 32 Gel, leche de cemento y las vigas macizas se rompieron de forma vertical por la parte central o sobre el apoyo donde empieza la inclinación de la junta que era lo esperado.

Las vigas Sin tratamiento se rompieron de forma inclinada justo por donde pasaba la línea de la junta de unión.

Para un análisis más general se realizó la gráfica de comparación entre las vigas patrón, la maciza y la que no tiene tratamiento de junta, con los tres materiales adherentes en cuestión.



Cuadro 4.2. Comparación entre los aditivos y las vigas patron
Fuente: Elaboración propia

Como se puede Colmafix 32 se encuentra por encima de los otros materiales adherentes como Sikadur 32 Gel y leche de cemento.

La diferencia entre la junta tratada con colma fix 32 que es el mayor y la junta tratada con leche de cemento que es la menor es de 1,807 kg/cm^2, cuyo valor es técnicamente mínimo por lo que se concluye que cualquiera de los materiales adherentes utilizados en los ensayos de este trabajo de investigación como ser leche de Cemento, Colma fix 32 y Sikadur 32 Gel son útiles para realizar la junta de adherencia entre hormigón nuevo y hormigón viejo.

4.2.3 Análisis Económico.

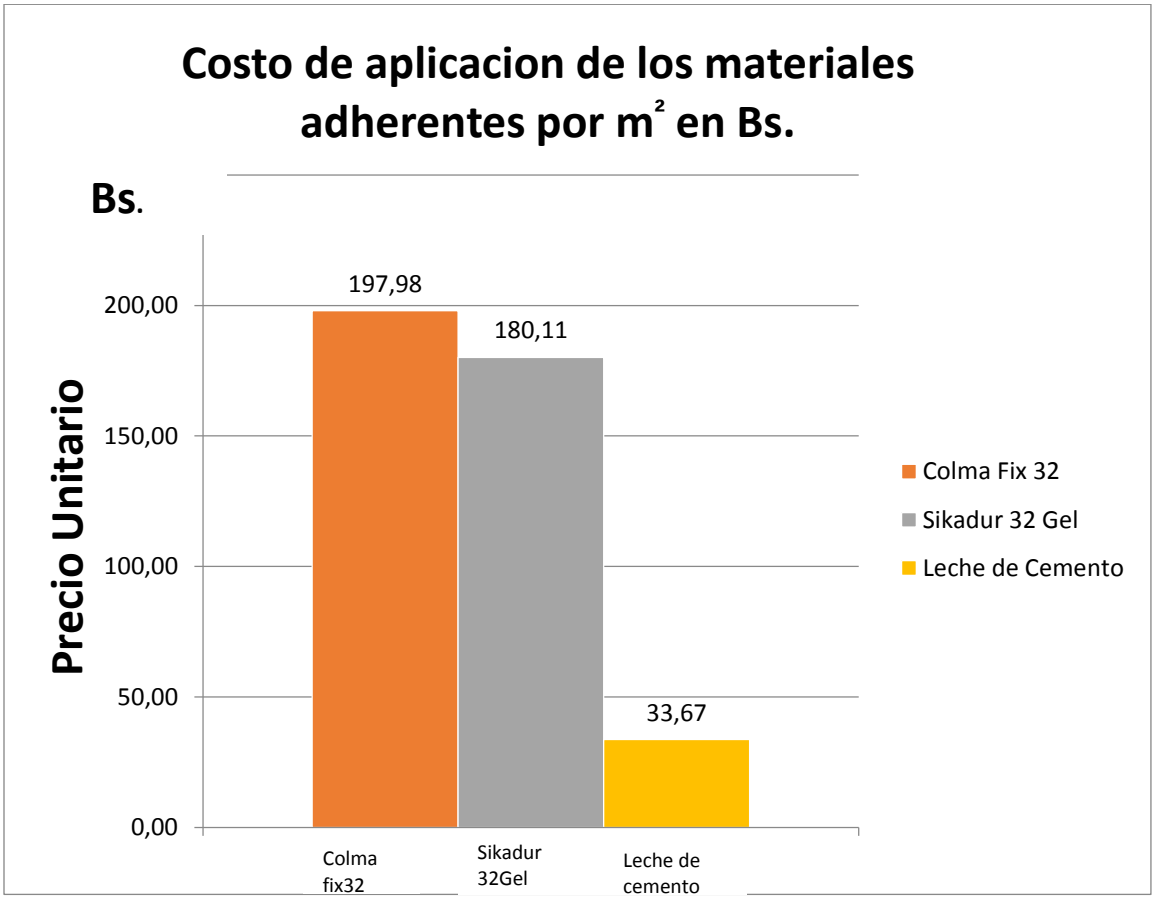
En cuanto al análisis económico, el rendimiento y el costo de los productos químicos y de la leche de cemento se representa en los siguientes cuadros de Precios Unitarios:

1	DATOS GENERALES				
	Proyecto : Estudio de la Adherencia entre hormigones a diferentes edades				
	Actividad : APLICACIÓN COLMA FIX 32				
	Cantidad : 1,00				
	Unidad : m²				
	Moneda : Bs				
1	**MATERIALES**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
	COLMA FIX 32	Kg	0,500	280,000	140,00
				TOTAL MATERIALES	**140,00**
2	**MANO DE OBRA**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
	Especialista	hr	0,500	17,000	8,50
	Ayudante	hr	0,500	11,000	5,50
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	14,00
	Cargas Sociales (% del Subtotal de Mano de obra) (55% al 71.18%)		55,00%		7,70
	Impuestos IVA MO (% de Suma de Subtotal de MO + Cargas Sociales)		14,94%		3,24
				TOTAL MANO DE OBRA	**24,94**
3	**EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
*	Herramientas = % del Total de Mano de Obra		5,00%		1,25
				TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	**1,25**
4	**GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS**				
*	Gastos generales (% de 1+2+3)		8,00%		13,30
				TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS	**13,30**
5	**UTILIDAD**				
*	Utilidad (% de 1+2+3+4)		7,00%		12,56
				TOTAL UTILIDAD	**12,56**
6	**IMPUESTOS**				
*	Impuestos IT (% de 1+2+3+4+5)		3,09%		5,93
				TOTAL IMPUESTOS	**5,93**
				TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)	**197,98**
				TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	**197,98**

2	DATOS GENERALES				
	Proyecto : Estudio de la Adherencia entre hormigones a diferentes edades				
	Actividad : APLICACIÓN SIKADUR 32 GEL				
	Cantidad : 1,00				
	Unidad : m²				
	Moneda : Bs				
1	**MATERIALES**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
	SIKADUR 32 GEL	Kg	0,500	250,000	125,00
				TOTAL MATERIALES	**125,00**
2	**MANO DE OBRA**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
	Especialista	hr	0,500	17,000	8,50
	Ayudante	hr	0,500	11,000	5,50
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	14,00
	Cargas Sociales (% del Subtotal de Mano de obra) (55% al 71.18%)		55,00%		7,70
	Impuestos IVA MO (% de Suma de Subtotal de MO + Cargas Sociales)		14,94%		3,24
				TOTAL MANO DE OBRA	**24,94**
3	**EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
*	Herramientas = % del Total de Mano de Obra		5,00%		1,25
				TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	**1,25**
4	**GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS**				
*	Gastos generales (% de 1+2+3)		8,00%		12,10
				TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS	**12,10**
5	**UTILIDAD**				
*	Utilidad (% de 1+2+3+4)		7,00%		11,43
				TOTAL UTILIDAD	**11,43**
6	**IMPUESTOS**				
*	Impuestos IT (% de 1+2+3+4+5)		3,09%		5,40
				TOTAL IMPUESTOS	**5,40**
				TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)	**180,11**
				TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	**180,11**

3	DATOS GENERALES				
	Proyecto : Estudio de la Adherencia entre hormigones a diferentes edades				
	Actividad : APLICACIÓN DE LECHE DE CEMENTO				
	Cantidad : 1,00				
	Unidad : m²				
	Moneda : Bs				
1	**MATERIALES**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
	CEMENTO	Kg	1,700	1,110	1,89
				TOTAL MATERIALES	**1,89**
2	**MANO DE OBRA**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
	Albañil	hr	0,500	15,000	7,50
	Ayudante	hr	0,600	11,000	6,60
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	14,10
	Cargas Sociales (% del Subtotal de Mano de obra) (55% al 71.18%)		55,00%		7,76
	Impuestos IVA MO (% de Suma de Subtotal de MO + Cargas Sociales)		14,94%		3,27
				TOTAL MANO DE OBRA	**25,12**
3	**EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS**				
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Productivo**	**Costo Total**
*	Herramientas = % del Total de Mano de Obra		5,00%		1,26
				TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	**1,26**
4	**GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS**				
*	Gastos generales (% de 1+2+3)		8,00%		2,26
				TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS	**2,26**
5	**UTILIDAD**				
*	Utilidad (% de 1+2+3+4)		7,00%		2,14
				TOTAL UTILIDAD	**2,14**
6	**IMPUESTOS**				
*	Impuestos IT (% de 1+2+3+4+5)		3,09%		1,01
				TOTAL IMPUESTOS	**1,01**
				TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)	**33,67**
				TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	**33,67**

Cuadro 4.4. Precios Unitarios de los aditivos
Fuente: Elaboración propia



Cuadro 4.4. Diferencia de Precios Unitarios de los aditivos
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla de precios unitarios el m² de junta de Colma Fix 32 tiene un costo de Bs. 197,98, el m² de junta de Sikadur 32 Gel tiene un costo de Bs. 180,11 y el m² de junta Leche de Cemento tiene un costo de Bs. 33,67. Al ser la leche de cemento es una pasta muy diluida su rendimiento aumenta considerablemente en comparación con los productos químicos que son sustancias muy densas, además de que el costo que existe entre los productos químicos y la leche de cemento es demasiado grande. Por lo que la junta con tratamiento de Lechada de Cemento es, económicamente, la más ideal para realizar este tipo de juntas.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

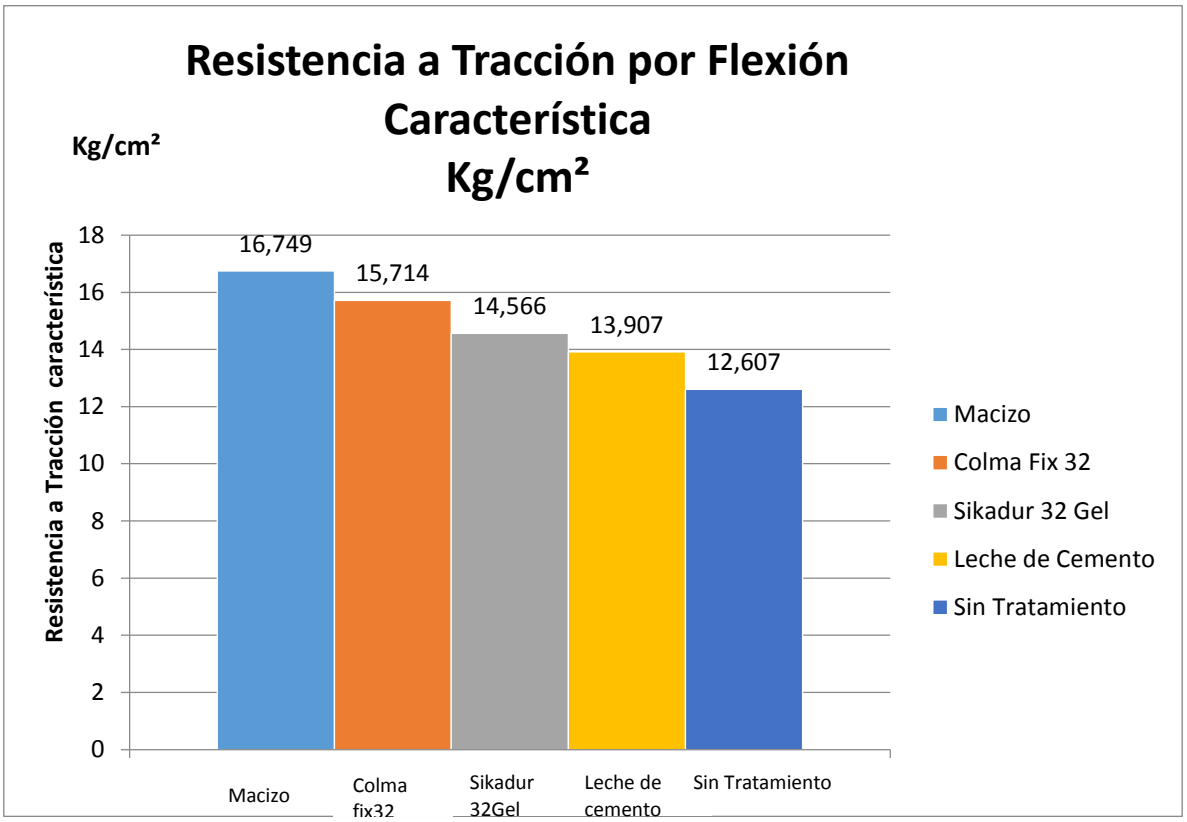
5.1 CONCLUSIONES

En el presente trabajo, por tratarse de elaborar un análisis de la junta de unión entre hormigón nuevo con hormigón viejo con tres tipos de materiales adherentes se ha llegado a las siguientes deducciones.

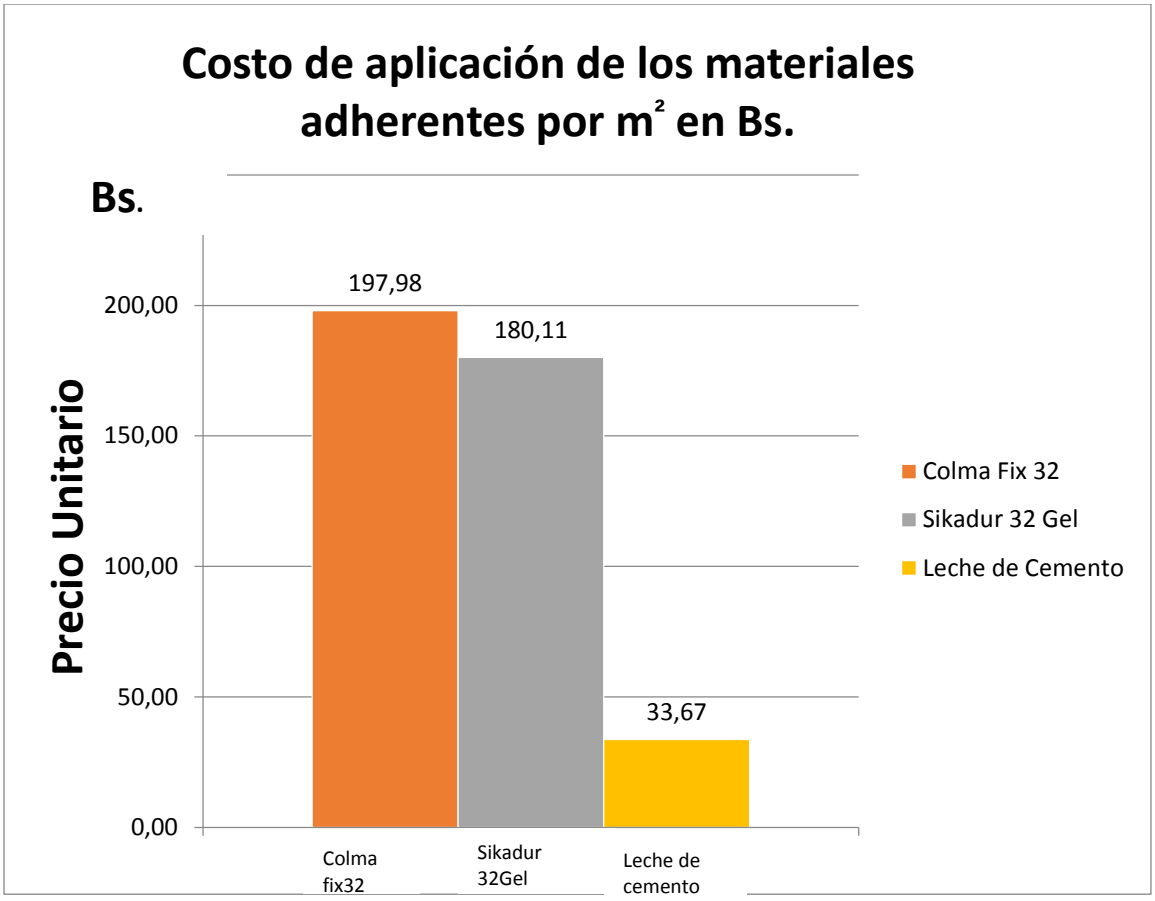
- Se realizó el estudio de las características necesarias para dosificar, del agregado grueso y del agregado fino, en el Laboratorio de Suelos y Hormigones de la U. A. J. M. S. en función a las normas establecidas.
- Las características del agregado grueso se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma, la granulometría del mismo, al estar más próximo al límite máximo establecido, tiende a ser una grava bien graduada con partículas parcialmente grandes. Lo que hace que el hormigón tienda a bajar un poco su resistencia, ya que para tamaños más grandes se requiere menos agua de mezcla y por lo tanto, para un factor de cemento dado, se produce concreto de baja relación de agua- cemento que los tamaños más pequeños.
- Las características del agregado fino se encuentran dentro de los parámetros de norma instituidos, la granulometría del mismo por encontrarse más próximo a los valores medios tiende a ser una arena bien graduada con partículas de tamaño medio que es lo ideal y no afecta en la resistencia del hormigón, al tener una cantidad de finos en el límite máximo tiende a elevar la relación agua-cemento y a mejorar la resistencia del hormigón.
- Se ejecutó el vaciado de las probetas cilíndricas las mismas que alcanzaron una resistencia a compresión media de 226,53 kg/cm^2 a los 28 días de edad del hormigón.
- Se efectuó el vaciado de las probetas de viga en dos etapas con una diferencia de 28 días usando para adherir el hormigón fresco con el hormigón endurecido tres tipos de materiales adherentes según especificaciones.
- Se ensayó por flexión a las probetas de viga con lo cual se pudo determinar los valores de la resistencia a tracción por flexión o módulos de rotura medios (M. R,)

para cada tipo de tratamiento de junta los mismos que se usaron para determinar la mejor alternativa.

- Las vigas sin tratamiento se rompieron de forma inclinada justo por donde pasaba la línea de la junta de unión.
- Después de ensayadas las probetas de vigas con los diferentes materiales adherentes se tiene los siguientes resultados:



- Después de haberse realizado el análisis económico de los materiales adherentes utilizados en los ensayos se llegó a los siguientes resultados:



- Después de realizado los análisis correspondientes el método de adherencia más eficaz tanto técnico como económico para unir hormigón nuevo con hormigón viejo en vigas sometidas a flexión es la aplicación de la leche de cemento el cual tiene un M. R. de 13,907 kg/cm^2 y un costo unitario de Bs. 33,67 el m^2.

- La leche de cemento puede reemplazar a los aditivos químicos, significando un costo menor y conservando en un 83,03 % de la resistencia de la viga patrón, cuando se trata de adherir hormigón nuevo con hormigón viejo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Cuando se trata de unir hormigón viejo con hormigón nuevo la opción más viable es utilizar leche de cemento, ya que es un producto que se encuentra constante en obra, es fácil de preparar y tiene un costo muy bajo.
- Para la manipulación de productos químicos es necesario el uso de herramientas de protección como guantes y otros.
- Para que el la junta tratada con leche de cemento tenga un buen funcionamiento se debe considerar los siguientes pasos.
    - Limpiar la superficie dejándola libre de polvo, grasa o cualquier suciedad que impida la adherencia del nuevo hormigón el mismo que puede realizar escarificándolo con una punta pequeña y martillo o con un cepillo de acero.
    - Remover cualquier hormigón débil o deteriorado.
    - En caso de tener armadura limpiarla de la presencia de óxido.
    - La superficie puede estar seca o húmeda pero libre de empozamiento antes de aplicar el adhesivo.
    - Preparar el adhesivo Colma Fix 32 según especificaciones.
    - Distribuir uniformemente con brocha o escoba al adhesivo pegante sobre el hormigón viejo y colocar el nuevo hormigón antes que éste se seque.
    - En caso que el adhesivo pegante se llegue a secar, este debe ser retirado escarificándolo y repetir el procedimiento.

- Se aconseja a las personas dedicadas a la construcción que se evite en lo posible dejar este tipo de juntas y en caso de dejarlas se debe seguir los pasos mencionados en el punto anterior.

- Al dejarse juntas de unión entre el hormigón nuevo y el hormigón viejo es muy importante saber que puede volverse puntos de inflexión para mi estructura por tal razón lo más encomendable es no realizar este tipo de juntas o minimizarlas en lo posible.