

INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



“TECNICAS DE REPARACION DEL CONCRETO
EN EDIFICACION URBANA”

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE LA
CONSTRUCCION
(ADMINISTRACION DE PROYECTOS)

BRETH ADAN VELAZQUEZ MORENO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



“TÉCNICAS DE REPARACIÓN DEL CONCRETO EN EDIFICACIÓN URBANA”

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
(ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS)**

BRETH ADAN VELÁZQUEZ MORENO.

MONTERREY, N. L.

ENERO 2003

Agradecimientos

A mis padres y mi tío Jesús por haberme inculcado principios de estudio y deseos de superación.

A mis hermanos por haberme apoyado en todo momento.

A mis sinodales y asesor de tesis por ayudarme a pulir este trabajo de tesis.

Y sobre todo a ti Wendy.

Que me debería el destino que contigo me premio, gracias por tu paciencia y estar a mi lado.

Lo que un día empezó como una pequeña idea, abrió un mundo de posibilidades y hoy se ha convertido en un gran futuro.

ÍNDICE

Panorama General de la Problemática.....	1
Capitulo 1 El concreto y su comportamiento en las estructuras.....	5
1.1 La estructura del concreto.....	5
1.2 Proporcionamiento y Elaboración del Concreto.....	7
1.2.1 Características de los materiales.....	8
1.2.1.1) Cemento	8
1.2.1.2) Agregados	9
1.2.1.3) Agua	10
1.2.1.4) Aditivos	10
1.2.2 Especificaciones del Concreto	11
1.3 La Durabilidad de las Obras Urbanas	14
1.4 Deterioro de los Miembros de Concreto	17
1.4.1 Defectos de Construcción y Diseño estructural	17
1.4.2 Defectos a Temprana Edad	18
1.4.2.1 Contracción por secado	18
1.4.2.2 Grietas y fisuras por Cambios Térmicos	19
1.4.2.3 Grietas Plásticas por Contracción	20
1.4.3 Fenómenos y Defectos a Largo Plazo	22
1.4.3.1 Congelamiento y Deshielo	22
1.4.3.2 Climas Costeros	23
1.4.3.3 Ataque de Sulfatos.....	24
1.4.3.4 Manchas en el concreto	27
1.4.3.5 Ácidos Naturales	27
1.4.3.6 Agua Desalada	28
1.4.3.7 Reacciones Álcali – Agregado	28
1.4.3.8 Carbonatación	29
1.4.3.9 Corrosión del Acero de Refuerzo	29

1.4.3.10 Daño por Fuego	30
Capitulo 2 Evaluación del Concreto en Estructuras de Concreto.....	33
2.1 Revisión de los datos de diseño.....	33
2.2 Inspección de las condiciones.....	34
2.3 Reconocimiento de la estructura.....	35
2.3.1 Inspección visual.....	35
2.3.1.1 Defectos de construcción.....	35
2.3.1.2 Agrietamiento.....	36
2.3.1.2.1 Apariencia de la grieta en la superficie.....	36
2.3.1.2.2 Profundidad de la grieta.....	36
2.3.1.2.3 Ancho de la grieta.....	37
2.3.1.2.4 Estado activo o inactivo de la grieta.....	37
2.3.1.2.5 Estado físico del concreto cuando aparecen las grietas.....	38
2.3.1.2.6 Naturaleza estructural de la grieta.....	38
2.3.1.2.7 Combinación de descripciones.....	38
2.3.1.2 Desintegración.....	38
2.3.1.2.1 Descascaramiento del concreto.....	39
2.3.1.3 Erosión.....	40
2.3.1.4 Falla en el material para sellar la junta.....	40
2.3.1.5 Falla por infiltración.....	41
2.3.2 Reconocimiento de los tipos de agrietamiento.....	41
2.3.2.1 Ancho de las grietas.....	41
2.3.2.2 Profundidad de la grieta.....	42
2.3.2.3 Causas de agrietamiento.....	43
2.3.2.4 Variación del ancho de la grieta.....	43
2.3.3 Mapeo de la superficie.....	43
2.3.4 Reconocimiento de las juntas.....	44
2.3.5 Corazones de concreto.....	45

2.4 Investigación de laboratorio.....	46
2.4.1 Examen petrográfico.....	46
2.4.2 Análisis químico.....	47
2.4.3 Análisis físico.....	47
2.5 Pruebas no destructivas.....	47
2.5.1 Numero de rebote (martillo).....	48
2.5.2 Resistencia a la penetración.....	50
2.5.3 Método de la velocidad de pulso ultrasónico.....	52
Capitulo 3 materiales para la reparación y protección de las estructuras de concreto.....	55
3.1 Fallas comunes en las edificaciones.....	55
3.2 Materiales para la reparación de grietas.....	56
3.2.1 Epoxicos de pasta (resinas de consistencia gelatinosa).....	56
3.2.2 Resinas epoxicas de baja viscosidad.....	58
3.3 Materiales para unir concreto viejo con nuevo.....	60
3.4 Materiales para la impermeabilización de muros.....	61
3.5 Precauciones en el manejo de los materiales de reparación.....	62
3.5.1 Fuego.....	62
3.5.2 Explosión.....	63
3.5.3 Reactividad.....	63
3.5.4 sanidad.....	63
3.6 Manejo de los materiales de reparación.....	64
3.7 Equipo de protección para el personal técnico.....	65
3.8 Ventilación.....	65
3.9 Almacenamiento.....	66
3.10 Primeros auxilios.....	66
Capitulo 4 consideraciones para la reparación y rehabilitación estructuras de concreto.....	67

4.1 Preparación del elemento a reparar.....	68
4.2 Métodos para la preparación de la superficie.....	69
4.2.1 Preparación química.....	70
4.2.2 Preparación mecánica.....	70
4.2.2.1 Escarificación manual.....	70
4.2.2.2 Disco de desbaste.....	70
4.2.2.3 Escarificación mecánica.....	71
4.2.2.4 Demolición.....	71
4.2.2.5 Lijado manual.....	72
4.2.2.6 Lijado eléctrico.....	72
4.2.2.7 Cepillado manual.....	73
4.2.3 Preparación con chorro de arena, seca o húmeda.....	73
4.3 Limpieza.....	74
4.3.1 Chorro de agua fría.....	75
4.3.2 Chorro de agua caliente.....	75
4.3.3 Chorro de aire comprimido.....	75
4.3.4 Aspiración al vacío.....	76
4.4 Selección de los materiales de reparación.....	77

Capitulo 5 Experimentación y Simulación en Problemas Frecuentes.

5.1 Grietas en muros de concreto.....	78
5.1.1 Propiedades de los elementos antes de la reparación.....	79
5.1.1.1 Resistencia a la flexión.....	79
5.1.1.2 Martillo de rebote.....	80
5.1.1.3 Velocidad ultrasónica de pulso.....	81
5.1.1.4 Ancho de las grietas.....	84
5.1.2 Preparación del elemento a reparar	84
5.1.3 Reparación del elemento.....	84
5.1.4 Propiedades después de la reparación.....	86
5.1.4.1 Velocidad ultrasónica de pulso.....	86
5.1.4.2 Esfuerzo a la flexión.....	88

5.2 juntas frías en el concreto.....	89
5.2.1 Modelo a simular para las juntas frías.....	89
5.2.2 Propiedades de los elementos antes de ser reparados.....	90
5.2.2.1 Martillo de rebote.....	91
5.2.2.2 Velocidad ultrasónica de pulso.....	91
5.2.2.3 Esfuerzo a la compresión.....	92
5.2.2.4 Módulo de elasticidad estático.....	92
5.2.3 Preparación del elemento a reparar.....	94
5.2.4 Reparación del elemento.....	94
5.2.5 Propiedades de los cilindros después de haber sido reparados (corte a 45°).....	95
5.2.5.1 Velocidad ultrasónica de pulso.....	95
5.2.5.2 Esfuerzo a la compresión de los cilindros reparados (corte a 45°).....	96
5.3 Impermeabilización de muros de concreto.....	97
5.3.1 Elemento a impermeabilizar.....	97
5.3.2 Propiedades de los cubos antes de ser impermeabilizados	98
5.3.2.1 Porcentaje de absorción.....	99
5.3.3 Preparación de los cubos a reparar.....	99
5.3.4 Impermeabilización de cubos de mortero.....	100
5.3.5 Esfuerzo a la compresión.....	100
5.3.6 Porcentaje de absorción de los cubos impermeabilizados.....	101
5.4 Análisis de resultados.....	102
5.4.1 Análisis de resultados de los muretes de concreto.....	102
5.4.2 Análisis de resultados de los cilindros de concreto.....	113
5.4.3 Análisis de resultados de los cubos impermeabilizados.....	124
5.5 Análisis de las velocidades ultrasónicas de pulso.....	128
5.5.1 Calidad de las reparaciones en los muretes de concreto	128
5.5.2 Calidad de la reparación en los cilindros de concreto (juntas frías).....	131

Capitulo 6 Recomendaciones y experiencias recabadas de una muestra de ensayos	136
6.1 Prevención	137
6.2 Protección	139
6.3 Consideraciones finales	139
Capitulo 7 Conclusiones	142
Referencias	145

Panorama General de la Problemática

Los antecedentes de los estudios que se han hecho para reparación y conservación de los miembros de una estructura de concreto son muy extensos, debido a que la reparación es un gasto considerable de mantenimiento se han elaborado manuales que nos muestran las diferentes fallas que se dan y sus causas.^[1]

Una inspección realizada en Francia a 10000 defectos para saber en que partes se encontraban mas frecuentemente, arrojó como resultado, que más de la mitad de los defectos se presentaban en la parte externa de la estructura, con un 25% de defectos solo en la estructura básica (vigas, columnas, muros, zapatas), con una gran proporción en los cimientos.^[1]

Con la ayuda de manuales, el ingeniero o diseñador de la estructura debe de tomar en cuenta los factores que pudiesen afectarla, y así tomar en cuenta las condiciones y ambientes a los que estará expuesta la estructura.

Los costos iniciales del diseño y construcción, son solo una fracción del costo total de la inversión para la construcción de una estructura o edificación urbana. Los costos de mantenimiento son también una fracción importante de la inversión, y cualquier gasto adicional innecesario que se de por el nacimiento o presencia de fallas o deterioros que no permitan el desempeño normal de la estructura, representan un gasto extra para el dueño de la estructura.^[1]

El deterioro y la conservación del concreto debe ser un motivo de preocupación por parte de los usuarios de edificaciones urbanas, el resultado de esto son gastos extras que pudieron haber sido previstos. Al ingeniero se le presenta este tipo de problema de las siguientes dos maneras: la prevención y la reparación.

Una edificación urbana esta hecha principalmente de concreto, es por eso que el ingeniero diseñador debe de estar al tanto de las condiciones a las que estará expuesta la estructura, y debe hacer sus

cálculos de diseño con los datos reales de las propiedades relevantes de del concreto.^[2]

El concreto hidráulico es un material que en cuestión de horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de fresco, pasando por un proceso de fraguado, hasta la de estado endurecido o cuerpo rígido que toma la forma del molde en el que se coloca.^[2]

Entre los propósitos de este trabajo, se encuentran el detectar productos comerciales para la reparación de fallas y deterioros que se presentan en los miembros de concreto, dar una breve visión del origen de las fallas y sugerir medidas preventivas. Experimentar con algunos productos para la reparación de las fallas que se presentan más comúnmente.

Se tratará de dar una idea de cómo se puede evaluar y diagnosticar las fallas que se presentan en el concreto. Se comentarán las técnicas que existen para la reparación de elementos de concreto, así como sugerir, de acuerdo a los resultados de la experimentación, materiales o aditivos a utilizar para evitar fallas comunes.

En la recolección de información de los diferentes productos que se pueden encontrar para la reparación, se tomaran en cuenta sólo los más utilizados en las fallas más frecuentes.

En el capítulo 1 se discuten las etapas por las que pasa el concreto, los problemas mas comunes que se le pueden presentar por no tener un buen proporcionamiento de la mezcla, los defectos a temprana edad que se pudiesen dar debido a diferentes factores como lo son agregados de mala calidad, mal curado, mala calidad en la mano de obra, malos hábitos en la construcción, agentes químicos dañinos en el ambiente, daños debido a temperaturas extremas, como climas muy fríos o muy cálidos.

El capítulo 2 muestra como se debe de evaluar el concreto con pruebas destructivas y no destructivas, ya que algunos de estos métodos

se utilizarán en la evaluación del concreto en la etapa de experimentación. Así Como también, describir como realizar la recolección de información y las condiciones de servicio en que se encuentra la edificación.

Tomar en cuenta las condiciones en que se encuentra el concreto en la estructura es indispensable antes de tomar cualquier decisión de reparación. Es por eso que en este capítulo se incluye los diferentes aspectos que se deben de tomar en cuenta al momento que se nos presenta una falla y antes de la reparación del concreto. Algunos de los aspectos mas importantes son la revisión de los datos de diseño, como se debe llevar a cabo la inspección y las diferentes pruebas que se le aplican al concreto en el laboratorio (pruebas destructivas).

En el capítulo 3 se describen los tipos de materiales que hay en el mercado para la reparación, protección y refuerzo, cuales son sus características, que ofrecen, sus ventajas, defectos, que cuidados especiales se le deben de dar, y como se aplican al concreto. Una de las características mas importantes de estos productos será su costo, a pesar de la devaluación y variaciones que podrían tener los precios durante el tiempo, resulta útil el realizar una comparativa de costos entre varios productos por un mismo tipo de aplicación.

En el capítulo 4 se incluirán las consideraciones que se deben de tomar en cuenta antes de la reparación y rehabilitación en el concreto (una vez que se ha tomado la decisión de reparar). Las consideraciones que se hagan antes de la reparación son muy importantes, y en estas consideraciones se tomará mucho en cuenta los factores económicos, técnicos y prácticos, este capítulo es muy importante en la reparación del concreto, pues una reparación inefectiva nos podría llevar a una reparación de calidad menor a la esperada, y por ende un gasto extra, ya que la reparación no cumpliría su objetivo.

Se podrá encontrar los diferentes métodos que hay para preparar los elementos a reparar, es importante tomar en cuenta que el concreto se deteriora por diferentes causas, y es por eso que la preparación será diferente para cada caso. En ocasiones se deberá de tomar en cuenta para su preparación, diversos aspectos, desde una simple limpieza o la remoción total del concreto para su reparación, hasta aspectos químicos.

En el capítulo 5 se experimentará, las pruebas a realizar serán para problemas más frecuentes que se hayan encontrado, y con los productos que haya para su reparación, en este capítulo se describe cuales son los problemas que se encuentran frecuentemente, como se simularán en el laboratorio y las pruebas no destructivas y destructivas que se le realizarán para determinar sus propiedades, las pruebas no destructivas se le aplicarán antes de la reparación y después de la reparación, esto con el fin de darnos una idea de la efectividad de la reparación, ya que se compararán los resultados de las pruebas no destructivas con las pruebas destructivas.

Se enumerarán todos los aspectos que se tomaron en cuenta para la reparación, con las recomendaciones que hace el fabricante. Y se hará un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas para mostrar si se cumplió con el objetivo de la reparación.

En el capítulo 6 se darán las recomendaciones que se tienen que seguir en cuanto a la prevención y protección a los elementos de concreto para tener una durabilidad aceptable y evitar la reparación.

Capítulo 1

El concreto y su comportamiento en las estructuras.

1.1 La Estructura del Concreto.

Los estructuristas comúnmente plasman en los planos y especificaciones de las estructuras de concreto reforzado sólo la información más importante para la construcción de la estructura, limitándose a citar, la resistencia del concreto ($f'c$) y la fluencia del acero de refuerzo (fy), esto es todo.

Sin embargo lo que el ingeniero estructurista ha considerado en su análisis y diseño, muchas veces no se apega a la realidad, y los demás valores obtenidos partiendo de estos supuestos, se obtienen de formulas.^[3]

Por ejemplo, algunos obtienen el módulo de elasticidad E_c (en Kg/cm^2), y así proceden a calcular rigideces, deflexiones, esfuerzos y deformaciones del concreto. En fin, se realiza el análisis y diseño de la estructura y se plasma la información en los planos, basándose en suposiciones como las obtenidas al aplicar la ecuación 1.1.

$$E_c = 0.14 w^{1.5} \sqrt{f'c} \quad (1.1)$$

Donde

W = peso volumétrico del concreto (w)

$f'c$ = resistencia a la compresión del concreto ($f'c$)

La teoría considerada en el análisis y el diseño de la estructura puede ser muy sofisticada, pero adolece de grandes limitaciones debido a las malas practicas, las cuales consisten en analizar y diseñar con valores supuestos, lo que quiere decir que se pueden tener buenos programas para diseñar y darán resultados muy acertados, pero si los datos de entrada que

se le dan, son supuestos, igualmente los datos de salidas serán supuestos y no serán para la estructura en cuestión.^[3]

Saber la forma en que se comportarán los elementos de concreto en la estructura durante su vida útil, es trabajo del ingeniero estructurista, dependiendo de las condiciones en las que trabajarán estos elementos el estructurista debe hacer sus cálculos y dictaminar no solo lo referente al diseño clásico, sino también lo referente a sus características tanto en estado fresco como endurecido, para desempeñarse bien en el lugar de exposición. De esta forma los elementos de esta estructura rendirán una durabilidad aceptable durante su tiempo de vida.

El concreto se compone principalmente de cemento Pórtland, agregados, agua y puede tener otros materiales cementantes y/o aditivos químicos. También contiene cierta cantidad de aire atrapado o puede contener aire por medio de un aditivo. Frecuentemente cuando se requiere tener características especiales en el concreto como el acelerar o retardar el fraguado del concreto, reducir la cantidad del agua requerida para el mezclado, mejorar la trabajabilidad, incrementar la resistencia o modificar otras propiedades del concreto se puede recurrir a los aditivos químicos.^[4]

En la industria de la construcción se considera al estructurista como líder natural en todo proyecto de construcción, de igual manera se espera que liderée los proyectos de reparación de aquellas estructuras que por alguna razón han fallado, se espera que el estructurista considere en su diseño los aspectos mas importantes para lograr que la estructura sirva para su propósito y ofrezca la seguridad esperada durante su vida útil.^[3]

Es por eso que la parte del análisis y diseño es de las más importantes para que una estructura tenga una durabilidad aceptable, por otro lado el supervisor también deberá tener cuidado en que se lleve a cabo la construcción con los requerimientos del diseñador.

1.2 Proporcionamiento y Elaboración del Concreto.

Todo concreto que se vaya a utilizar en elementos estructurales deberá, en un principio ser dosificado para su elaboración, esto dependiendo de donde se va a colocar y qué características (revenimiento, resistencia a la compresión, con o sin aditivos) se necesitarán, el objetivo de la dosificación del concreto es el de obtener una mezcla que posea un número de propiedades determinadas tanto en estado fresco como endurecido, todo esto cuidando la economía y con el menor costo posible.

El diseño de las mezclas se debe hacer siguiendo recomendaciones de comités como el ACI (American Concrete Institute) y la PCA (Portland Cement Association). Para obras pequeñas algunas cementeras han publicado ayudas prácticas como la que se presenta en la tabla 1 (Estas tablas cumplen con la NMX-C-414-ONNCCE-1999.):

Tabla 1. Dosificación del Concreto

Resistencia Kg/cm ²	Tamaño de la Grava de 1 1/2"	Proporcionamiento en M ³			
	utilizado en:	Cemento (saco)	Agua	Arena	Grava
100	Banquetas	1.000	0.057	0.133	0.181
150	Pisos y Castillos	1.000	0.048	0.105	0.162
200	Losas, Trabes y Zapatas	1.000	0.038	0.076	0.143
250	Columnas y Losas	1.000	0.033	0.067	0.124
300	Concreto de Alta Resistencia	1.000	0.024	0.048	0.105

Resistencia Kg/cm ²	Tamaño de la Grava de 3/4"	Proporcionamiento en M ³			
	utilizado en:	Cemento (saco)	Agua	Arena	Grava
100	Banquetas	1.000	0.057	0.143	0.152
150	Pisos y Castillos	1.000	0.048	0.105	0.124
200	Losas, Trabes y Zapatas	1.000	0.038	0.076	0.114
250	Columnas y Losas	1.000	0.033	0.067	0.095
300	Concreto de Alta Resistencia	1.000	0.024	0.048	0.086

Las características que debe de tener el concreto en estado endurecido son especificadas por el diseñador o ingeniero estructurista, y las propiedades del concreto fresco están definidas básicamente por el tipo de cimbra del elemento donde será colocado y el tipo de construcción.

El ingeniero estructurista esta a cargo del diseño estructural, y éste se realiza con base en una determinada resistencia mecánica del concreto y especificada a los 28 días, considerando que en este lapso el concreto normalmente adquiere cerca del 80% de su resistencia potencial.^[5]

1.2.1 Características de los Materiales.

1.2.1.1) cemento.

El cemento Pórtland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene las propiedades de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida.^[6]

El cemento es un producto que se obtiene de pulverizar clinker conformado por silicatos de calcio, que generalmente contienen algún tipo de sulfato de calcio.^[6]

El cemento Pórtland es un pegamento que une a los diferentes componentes del concreto. Existen varios tipos de cemento Pórtland, en la tabla 2 podemos ver los diferentes tipos de cementos que hay en el mercado, y las características especiales que pueden tener los cementos (tablas obtenidas de la norma mexicana del concreto, NMX-C-414-ONNCCE-1999).^[7]

El cemento mas comúnmente utilizado en México es el cemento Pórtland ordinario, el cual se utiliza para la prefabricación, pavimentos, firmes, concreto armado y concretos de altas resistencias.^[7]

El cemento puzolánico es también bastante utilizado y es ideal para concreto que estará en contacto con aguas agresivas de cualquier naturaleza, así como también para concreto de grandes masas en que interviene una gran elevación de temperatura, por tanto son especiales para presas, cimentaciones, y concretos que estarán expuestos a zonas costeras.^[7]

Tabla 2. Tipos de Cementos y Características (Clasificación)

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con humo de Silice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

Nomenclatura	Cementos con Características especiales
RS	Resistencia a los sulfatos
BRA	Baja Reactividad Alcalí agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Bianco

El cemento es el material más importante del concreto y por consiguiente el más caro, es por eso que se debe tener extrema precaución en su almacenamiento, este debe ser un lugar seco, libre de humedad y no almacenarse por más de 3 meses.^[7]

1.2.1.2) Agregados.

Una gran parte del concreto está formada por los agregados (cerca del 75%), por lo que las propiedades de estos tienen gran influencia en el comportamiento del concreto.

Los agregados se clasifican dependiendo del tamaño de sus partículas en dos clases, agregado grueso y fino, el agregado grueso son agregados de tamaño mayor a 5mm y los agregados finos se encuentran en el rango de 5 mm (malla n° 4) y 0.07 mm (malla n° 200).

Los agregados pueden ser utilizados en su estado natural como agregados de río o pueden ser agregados triturados. El agregado grueso triturado presenta mejores características con respecto a la adherencia que el agregado de río, por lo que el concreto hecho con agregados triturados puede tener una mayor resistencia.

Los agregados deben de estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que pueden afectar las reacciones químicas de fraguado o producir porosidades indeseables.

1.2.1.3) Agua.

El agua a utilizarse en la elaboración de concreto debe de ser potable, si es bebible por el ser humano se puede utilizar para la elaboración del concreto.^[2]

Se debe de tener cuidado de que el agua a utilizar en la elaboración de concreto no contenga sales, ya que éstas podrían ocasionar corrosión en el acero.

El agua de mezclado del concreto debe de cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-122.^[7]

1.2.1.4) Aditivos.

Los aditivos se definen como un material diferente al agua, agregados, cemento hidráulico y fibras de refuerzo que se emplean como un ingrediente del concreto o mortero y se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. Los diferentes aditivos que podemos encontrar son los de inclusores de aire, aditivos químicos, cenizas volantes, puzolanas naturales y escorias de alto horno finamente molidas.^{[4][8]}

El uso de un aditivo inclusor de aire permite al productor de concreto poder ajustar el contenido de aire incluido, ya que este se puede ver afectado por diferentes condiciones, de esta manera se compensan las pérdidas de aire en el concreto.^[4]

Algunas de las condiciones que afectan la cantidad de aire incluido en el concreto son: características de los agregados, naturaleza y proporción de los componentes aditivos del concreto, tipo y duración del mezclado, consistencia, temperatura, y composición química y finura del cemento.^[4]

Entre los aditivos mas utilizados e importantes para el concreto se encuentran los reductores de agua los cuales son utilizados para mejorar la calidad del concreto, pues la resistencia y otras características importantes del concreto como durabilidad, contracción y agrietamiento están relacionadas con el contenido total de agua y la relación agua/cemento.^[4]

Los aditivos químicos que se deben ajustar a la norma ASTM C 494 que cita los tipos de la A a la G, como se da a continuación:^[4]

Tipo A – reductor de agua

Tipo B – retardante

Tipo C – acelerante

Tipo D – retardante y reductor de agua

Tipo E – acelerante y reductor de agua

Tipo F – reductor de agua de alto rango

Tipo G – reductor de agua de alto rango y retardante

1.2.2 Especificaciones del Concreto

Las especificaciones técnicas que se piden en el concreto son la base para la obtención del proporcionamiento de la mezcla. La norma mexicana del concreto es una buena guía que describe con detalle las pruebas que se le deben hacer al concreto en sus etapas de fresco y endurecido, Entre las especificaciones mas importante que se piden de los concretos en estado fresco se encuentran^[7]:

- Revenimiento del concreto.
- Masa unitaria.
- Temperatura del concreto fresco en climas extremosos.

Las propiedades del concreto en estado endurecido que deben de ser descritas por el estructurista son las siguientes^[7]:

- resistencia a la compresión
- módulo de elasticidad

Revenimiento del concreto

Esta es la medida de la consistencia que tiene el concreto fresco. El contenido de agua debe de limitarse de tal forma que el revenimiento nominal del concreto no exceda los 10 cm. Si se ocupa aumentar el revenimiento se tendrá que recurrir a aditivos.^[7]

Esta propiedad del concreto es útil para concretos que se tengan que bombear.

Masa unitaria.

Esta es la masa del concreto por unidad de volumen, y debe de tener un valor de entre 1900 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 .

Temperatura del concreto fresco en climas extremosos

En climas cálidos la temperatura que se debe tener del concreto al momento de su producción y colocación, no deberá de ser una mayor a 32°C .

En climas con temperaturas altas el responsable de la obra debe de determinar si es necesario enfriar los materiales y la posibilidad de escarchar el agua, esto sin que la temperatura del concreto sea menor a 10°C .

Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión de concreto que se especifica es la que se obtiene a los 28 días de colado el concreto. Aunque existe la excepción en obras como túneles y presas donde se emplean cementos especiales con aditivos y se especifican en tiempo menores o mayores. Dependiendo del aditivo utilizado y las necesidades de la obra.

La resistencia del concreto se determina mediante el ensaye de cilindros colados con el concreto muestreado en la obra, estos cilindros son de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. Los cilindros se ensayan a la compresión hasta la falla mediante una prensa. Ver Figura 1.



Figura 1. resistencia a la compresión de cilindros

La resistencia a la compresión de los concretos está dominada por la relación agua/cemento y por el nivel de compactación logrado, pero también son factores importantes la cantidad de cemento y la granulometría de los agregados.^[4]

Módulo de elasticidad

Como ya se mencionó, el estructurista o diseñador debe de considerar el módulo de elasticidad que se obtendrá con los materiales de la zona donde se hará la construcción. En la planta donde se pretenda adquirir el concreto, deberá de contar con información confiable acerca del módulo de elasticidad, en caso de no contar con esta información, se deberá de obtener mediante ensayos preliminares que se realicen con el concreto.^[7]

1.3 La durabilidad de las obras urbanas.

La durabilidad del concreto se define como la capacidad del concreto hidráulico de resistir o prevenir por un tiempo determinado (a lo que se le llama vida útil) ataques químicos, acción ambiental, corrosión del acero de refuerzo o a cualquiera otra falla o deterioro, de tal forma que se mantenga su forma original, condición de servicio y propiedades mecánicas.^[7]

Uno de los puntos mas importantes que deberá tomar en cuenta el diseñador, es la longevidad de la infraestructura. El ciclo de vida de estos elementos deberá ser lo suficientemente amplio de tal forma que los edificios a construir sean rentables. Para esto el diseñador deberá tomar en cuenta las condiciones a las que estará expuesta la construcción.

Las técnicas de la producción, colocación, terminado y curado del concreto, jugaran un papel importante para evitar una reducción en las propiedades del concreto como la resistencia, la cual es una de las más importantes del concreto.

El concreto en un ambiente no agresivo y sin ataques químicos, es de suponer que tendrá una buena durabilidad, un tiempo aceptable de funcionabilidad. Pero como estas condiciones ambientales sin ataques químicos en ciertas circunstancias no son posibles, existen aditivos, para

contrarrestar los deterioros que podría sufrir la estructura, también existen técnicas de reparación y métodos para detectar las fallas y repararlas con el objeto de extender la vida de las edificaciones.

En el futuro se tendrá que poner énfasis especial en las normas para el buen desempeño de las estructuras a largo plazo, así como una mejora en los materiales y técnicas para la dosificación del concreto.^[9]

Las ciencias que se interesan en la durabilidad del concreto hoy en día son la química, la mecánica, la ingeniería civil, e inclusive la ingeniería ambiental.

El concreto hecho con cemento Pórtland es ampliamente disponible en todo el mundo, pero la tecnología y habilidad para proporcionar, mezclar, poner en el lugar y curar el material dando una durabilidad de largo alcance no son del dominio general. La implementación de estos conocimientos es uno de los retos más grandes. Uno de los resultados más favorables que se podrían obtener como resultado de la implementación de estos conocimientos, sería, un ahorro en el mantenimiento de la infraestructura de los edificios de concreto.^[9]

La mejor manera de procurar que el concreto sea durable es producir concreto que pueda suministrar el servicio deseado para el servicio de vida deseado en el ambiente en el cual será colocado y usado. Cada mezcla de concreto deberá ser proporcionada de acuerdo con las condiciones de exposición en las que se vaya a encontrar, consideraciones de la construcción y criterio estructural. Exposiciones al congelamiento y deshielo, sulfatos, ácidos, variaciones en las condiciones de humedad, se deberá considerar cuando se escojan los materiales y la proporción. Como adición extra, los materiales disponibles deberán ser seleccionados para prevenir una expansión excesiva debido a una posible reacción álcali-sílice, y gradientes térmicos. El factor fundamental en la creación de un concreto durable es el uso de las puzolanas y la escoria molida en combinación con el cemento Pórtland, y la apropiada selección de los agregados (proporción, dureza, granulometría, forma, y tamaño).^[9]

631281

Con aditivos se podrá inhibir la corrosión, reducir la formación de productos álcali – sílice, se harán concretos mas impermeables de tal manera que evitan la penetración de agua, y reducen la contracción, así, de esta manera podremos obtener mejores beneficios de los concretos con aditivos.^[9]

El funcionamiento del concreto basado en especificaciones podría llevar a muchas de las mejoras en la durabilidad de la infraestructura de concreto. El valor del concreto será definido en términos de su madurez, permeabilidad, porcentaje de aire incluido, resistencia a los sulfatos, penetración de cloruros, resistencia y las características del suelo en el lugar de la colocación.^[9]

Hoy en día podemos encontrar en manuales de construcción los conocimientos que se requieren para seleccionar los materiales, dosificación de la mezcla y prácticas para la producción del concreto hidráulico que resistirá lo requerido para darle un mínimo de mantenimiento a la estructura, para cualquier servicio deseado en su ciclo de vida, y en cualquier ambiente. Hoy en día el concreto es producido a un costo mayor al que debería costar, esto por que muchas veces tiene propiedades que no necesita.^[9]

En resumen, es muy importante tomar en cuenta la durabilidad del concreto, se debe tener cuidado en la selección de los materiales para optimizar las propiedades del concreto, como también tener cuidado de tener una superficie limpia en donde se colocará el concreto. El uso de técnicas no destructivas podrá dar una idea de la calidad y características del concreto que se ha fabricado, por lo que se podrá estimar aproximadamente su durabilidad.

1.4 Deterioro de los miembros de concreto.

Es importante entender cuales son las causas y las diferentes formas en que el deterioro se podría presentar en el concreto. Entendiendo estas causas y las formas en que se presenta, es posible obtener una estimación realista de las condiciones en las que se encuentra la estructura de concreto, y diseñar e implementar un correctivo apropiado o alguna técnica de rehabilitación. Al final se encuentra el apéndice A donde podemos encontrar los problemas mas comunes en el concreto con sus soluciones de prevención y reparación.

A pesar de que el deterioro de las estructuras de concreto es un proceso de mediano a largo plazo, el principio del deterioro podría estar influenciado por la presencia de defectos, que tienen su origen en el momento de su construcción, o en su muy temprana etapa de vida de la estructura.^[10]

Estos defectos permiten a la atmósfera y a otros agentes del medio ambiente penetrar la superficie del concreto y tomar parte en el deterioro de la estructura de concreto. Los defectos y problemas que se dan en el concreto a temprana edad se pueden evitar siguiendo algunas recomendaciones para la elaboración del concreto.^[10]

1.4.1 Defectos de Construcción y Diseño Estructural.

Un mal diseño estructural afecta el funcionamiento del concreto de muchas maneras (como: el poner caídas de agua y desagües en losas u otros miembros horizontales). Es por eso que sobre el ingeniero estructurista recae una gran responsabilidad en cuanto al diseño pues se tiene que tomar en cuenta acertadamente la forma en que el concreto trabajará.

Los defectos más comunes que se presentan durante la construcción son: la falta de un adecuado recubrimiento de concreto como protección al acero de refuerzo, una baja trabajabilidad del concreto o una inadecuada compactación, y juntas frías mal selladas.

1.4.2 Defectos a Temprana Edad.

El proceso de solidificación del concreto al momento de ser colocado en el molde puede tomar horas dependiendo de la presencia de las sustancias mezcladas y las condiciones del ambiente. Mientras el concreto está en la etapa plástica se pueden dar cambios rápidos en el porcentaje de humedad lo cual puede ocasionarnos fisuras, grietas u otros defectos.

1.4.2.1 Contracción por secado

El cambio volumétrico experimentado por un elemento de concreto no termina cuando ha regresado a su temperatura ambiente. El agua esta presente en las mezclas de concreto en cantidades más grandes de las que se han requerido para tomar parte en la reacción de la hidratación con el cemento. Esta agua adicional es requerida durante la etapa de construcción para darle a la mezcla suficiente trabajabilidad para permitir ser compactado fácilmente en la cimbra. Esta agua adicional es atrapada en la mezcla como parte del concreto. Bajo condiciones normales la humedad en el concreto se pierde gradualmente al ser liberada a la atmósfera.^[10]

La perdida de humedad es acompañada por la reducción en volumen, conocido como “contracción por secado”. Como en el caso de la reducción en volumen asociado con el enfriamiento de la temperatura más alta que se da por efecto de la reacción química de la hidratación, cualquier restricción de este movimiento podría resultar en un esfuerzo a tensión el cual es suficientemente grande para causar agrietamiento. La contracción por secado puede también agravar las grietas existentes debido a la contracción plástica.^[10]

Uno de los factores más importantes que afectan a la contracción, es la influencia que ejerce los agregados en el concreto, estos restringen la cantidad de contracción que pudiese presentarse.^[11]

Algunas recomendaciones para evitar el agrietamiento de contracción por secado serian las siguientes:

- Humedecer la cimbra y la superficie donde será colocado el concreto
- Una forma de evitar la excesiva perdida de humedad por vaporización es estar rociando con agua sobre el concreto y evitar la ventilación.
- Utilizando concreto con agua o agregados helados en climas calurosos, y concretos no muy calientes en climas helados.
- Curando el concreto inmediatamente después de haberle dado el acabado final.
- Utilizando un aditivo retardador se podría reducir la contracción y evitar grietas.

1.4.2.2, Grietas y Fisuras por Cambios Térmicos

Al momento que se da la reacción química entre el agua y cemento, la mezcla del concreto endurece y cambia del estado plástico al estado sólido. La reacción química continúa sobre un periodo largo que puede tardar hasta 12 meses, pero su nivel máximo se da durante los primeros días. Durante este tiempo, la energía de calor es liberada por la reacción, de tal manera que no puede ser disipada toda tan rápidamente a través de la superficie del concreto. La alza en la temperatura continuará por varios días, pero usualmente la temperatura pico se presenta dentro de las 24 o 48 horas después de colocado el concreto. Luego el concreto se enfría en un periodo de unos cuantos días hasta que alcanza la temperatura ambiente.^{[5][10]}

En la mayoría de los materiales del concreto, el ascenso y caída de temperatura es acompañado de la expansión y contracción. La contracción no expone a ninguna amenaza al concreto a menos que haya una restricción al movimiento. Desafortunadamente, en muchas situaciones prácticas, hay restricciones, tanto externas como internas, lo cual da como

resultado un esfuerzo a tensión, puesto que el concreto es débil a la tensión es propenso a grietas o fracturas.^{[10][12]}

1.4.2.3, Grietas Plásticas por Contracción.

Al momento de que el concreto ha sido colado, la pasta del cemento sobre la superficie se vuelve plástica, esta pasta sufre cambios volumétricos que dan lugar a grietas, a estas grietas se les conoce como grietas plásticas por contracción.^[12]

Estas grietas se dan por la pérdida de humedad en la superficie del concreto, o por succión del concreto seco que se encuentra por debajo, de tal forma que se produce una contracción en la superficie del concreto, restringido por el centro de concreto no contraído, y debido a que el concreto en estado plástico es muy débil se forman las grietas plásticas por contracción.^[12]

Las grietas plásticas por contracción son mayores mientras mayor sea el porcentaje de evaporización del agua, el cual a su vez depende de la temperatura del concreto, del aire, de la humedad relativa del aire y la velocidad del viento.^[12]

En la figura 2 se encuentra la gráfica para calcular la velocidad con la que se evapora el agua que contiene el concreto.

La forma en que se utiliza esta gráfica es la siguiente:

1. Se entra con la temperatura del aire, y se intercepta la humedad relativa.
2. Se sigue a la derecha interceptando la temperatura que tiene el concreto en estado fresco.
3. Se sigue hacia abajo y se intercepta la velocidad del aire en el lugar donde se está colocando el concreto.

4. De esta forma se sigue a la izquierda (como la flecha lo indica) y se encuentra la velocidad con que se evapora el agua que contiene la mezcla del concreto del concreto.

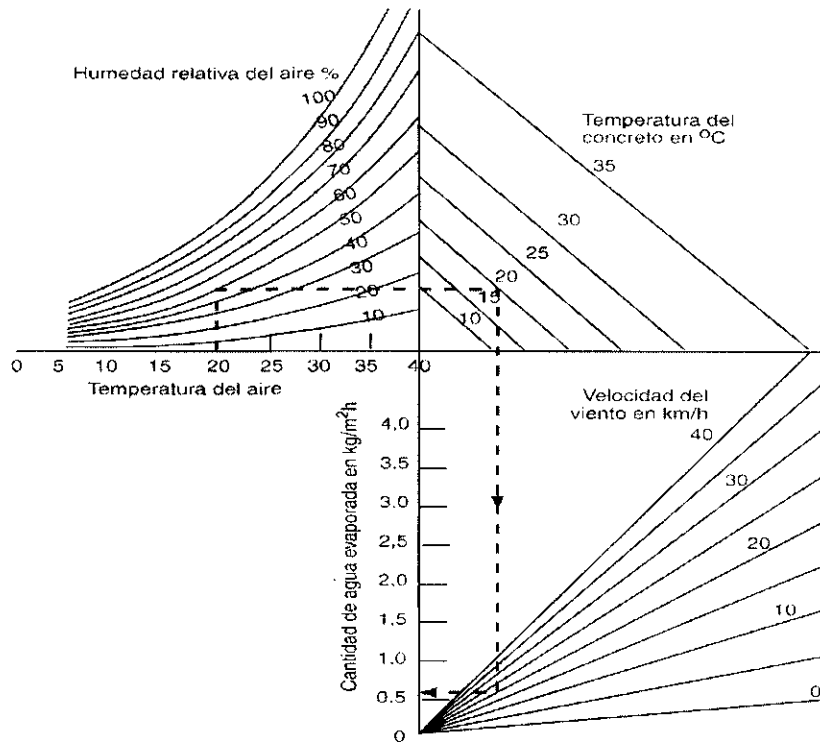


Figura 2. cantidad de agua evaporada del concreto fresco.

Teniendo la rapidez con que se evapora el agua que contiene la mezcla del concreto, se hace una comparación para ver si se encuentra en el rango de 1 a 1.5 kg/m²/hr o mayor, si es así, se corre el riesgo de que se presenten este tipo de grietas por contracción plástica, y será necesario tomar precauciones para evitarlas.

1.4.3 Fenómenos y Defectos a Largo Plazo

Un concreto en servicio está expuesto a una amplia variedad de ambientes y por su naturaleza física y química, se podría deteriorar como resultado de esta exposición. La estructura matriz de la hidratación del cemento contiene poros y capilaridades, y esto da pie a que la humedad lo utilice como pasadizos de tal manera que la atmósfera puede penetrar al concreto.

El concreto es alcalino y es susceptible a reaccionar con gases ácidos en la atmósfera o con agua ácida. Ciertos productos de hidratación podrían tomar parte en reacciones destructivas de expansión con sulfatos en los agregados o con algunos otros de fuentes externas. En general, entre mas alta sea la calidad del concreto, es menos susceptible a la mayoría de las formas de deterioro.^[10]

1.4.3.1 Congelamiento y Deshielo

La exposición de miembros de concreto a condiciones climatológicas en que su temperatura desciende y asciende por debajo del punto de la congelación del agua, suele ser bastante agresivo con respecto al deterioro prematuro cuando el concreto no posee una adecuada capacidad para resistir los efectos perjudiciales que en estas condiciones se producen.^[5]

Se puede definir como “daño por congelación y deshielo” a el daño que sufre el concreto debido a la congelación y deshielo del agua que tiene atrapado el concreto en sus poros, esta agua que se congela ejerce presiones internas que se originan por este fenómeno. De este modo, para que exista el riesgo de daño, se requieren dos condiciones básicas: que el concreto contenga suficiente agua y que la temperatura sea lo suficientemente baja como para provocar la congelación del agua en el interior del concreto. Además, existe una tercera condición que hace más

crítico el daño, la cual consiste en que este fenómeno se repita consecutivamente, pues el daño del concreto endurecido normalmente se manifiesta solamente después de que se congela y descongela varias veces.^{[5][8]}

Algunas precauciones que se deben de tomar en climas fríos son las siguientes:

- La cimbra se dejará puesta durante más tiempo o se empleará cemento de fraguado rápido, o ambas cosas.
- Se debe de verificar que el agregado no este congelado.
- Cubrir la parte superior del concreto con material aislante.
- Se puede utilizar aditivos superfluidificantes y acelerantes de resistencia para su colocación en climas helados.

1.4.3.2 Clima Costero

En climas costeros el concreto esta expuesto a los ataques por agua de mar o por las sales que hay en el ambiente, este clima contiene sulfatos. La forma de atacar de esta reacción química, es de cristalizar las sales en los poros del concreto ejerciendo una presión, esto puede destrozar al concreto.^[11]

Los concretos que están expuestos a mareas altas y bajas están sometidos a ciclos de humedecimiento y secado lo que hace que el ataque sea más severo, mientras que el concreto sumergido en el agua de mar tiene un ataque menor.^[11]

- Una forma de evitar estos problemas, es utilizando mezclas de concreto con inclusores de aire para aumentar la durabilidad del concreto y su resistencia a ambientes agresivos.

En la figura 3 se muestra un pilote en un clima costero, se ve que el pilote esta descascarado por ataques severos de sales.



Figura 3. ataque por sales en clima costero

1.4.3.3 Ataque de Sulfatos

Los sulfatos son una sustancia natural que se puede encontrar en los suelos, rocas y aguas subterráneas. Las sales no atacan al concreto cuando se encuentran en estado sólido, pero en el caso de cuando se

encuentran en los agregados y entran en contacto con el agua se convierten en un severo ataque al concreto, de igual forma cuando las sales se encuentran en aguas subterráneas y entran en contacto con el concreto. Los productos de las reacciones, el yeso y el sulfoaluminato de calcio, tienen un volumen más grande que los compuestos que reemplazan, de modo que al reaccionar con los sulfatos se expanden y causan ruptura al concreto.^[11]

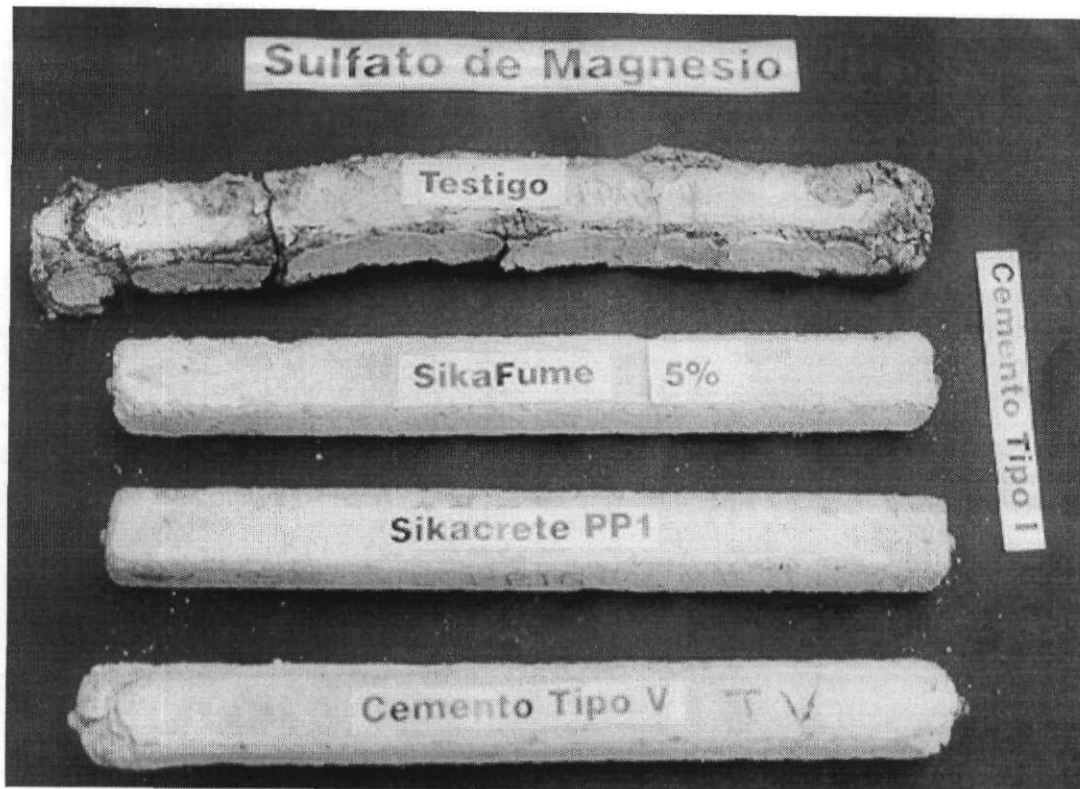


Figura 4. testigos con aditivos y concretos especiales expuestos a ataques de sulfatos.

En la Figura 4, se muestran cuatro testigos que estuvieron expuestos a ataques de sulfatos, aquí solo el primero sufrió daños, los otros contenían aditivos para contrarrestar los efectos a causa de ataque de sulfatos.

El sulfato de sodio presente en las aguas subterráneas reacciona con los minerales presentes en el concreto en dos etapas. La primera etapa es una reacción con el hidróxido de calcio para producir sulfato de calcio e

hidróxido de sodio. El sulfato de calcio después reacciona con aluminatos tricálcicos. Si los poros vacíos en el concreto son rellenados por sulfato de sodio, al momento que entra el concreto en contacto con un flujo de agua subterránea, la reacción puede continuar con más expansión.^[10]

La reacción con sulfato de magnesio en aguas subterráneas es también extremadamente destructiva. El sulfato de magnesio reacciona con ambos el aluminato tricálcico y el hidróxido de calcio para dar como resultado tricalcio sulfaluminato, sulfato de calcio e hidróxido de calcio. Esta reacción baja el PH y esto causa que la estructura de los silicatos de calcio en la pasta del cemento se quiebre, soltando más hidróxido de calcio. Este hidróxido de calcio con más sulfato de magnesio baja de nuevo el PH, así la reacción continua. Si hay suficiente sulfato de magnesio, la reacción continua hasta que la estructura de silicatos de calcio en la pasta del cemento se rompe por completo y se vuelve blanda y esponjada. En diferentes casos la pasta del cemento puede ser removida por completo dejando solo a los agregados.^[10]

El agua de mar contiene sulfatos en concentraciones que se podría esperar causen daños al concreto. Sin embargo, se han atribuido pequeños daños a la acción del agua de mar en las estructuras de concreto. Este es un contraste, se han reportado severos daños debido a los cloruros en el agua de mar sobre el concreto reforzado.^[10]

Para combatir los efectos del ataque de sulfatos, se pueden elaborar mezclas de concretos resistentes a los sulfatos, utilizando con cemento Pórtland puzolánico. El cemento resistente a los sulfatos tiene un bajo contenido de aluminatos tricálcicos y de esta manera menos potencial para una reacción de expansión.^[10]

- Una forma de evitar estos problemas en el concreto es utilizando un concreto especial como el CPO-RS, el cual es resistente a los sulfatos.

1.4.3.4 Manchas en el concreto

En los agregados algunas veces se presentan piratas de hierro, este es un mineral natural que causa oxidación en la superficie del concreto, dejando manchas de sarro. Ya con esta oxidación, al entrar en contacto con la humedad y el oxígeno, se forma un sulfato férreo y ácido sulfúrico. El resultado de esto es la pérdida de resistencia en el concreto y se entiende que algunas estructuras podrían ser demolidas como consecuencia.^[10]

- Una medida preventiva consiste en lavar bien los agregados y tener agua lo bastante limpia para evitar la aparición de manchas.
- Como método correctivo se podría cepillar la superficie, lavarla con agua acidulada, o evitando el flujo del agua a través del concreto.

1.3.3.5 Ácidos Naturales

La mayoría de los ácidos orgánicos aparecen en el agua subterránea, estos ácidos orgánicos se derivan de las descomposiciones de vegetales o de solución atmosférica del dióxido de carbono. Otro tipo de ácidos son los lácteos que se encuentran en la leche ácida o rancia, este tipo de ácidos afectan bastante al concreto, en industrias lácteas y cremerías se presentan este tipo de deterioros.^[10]

Si los ácidos entran en contacto con el concreto reaccionan con la materia alcalina para producir un producto soluble que puede ser removido por una solución. En corrientes de agua, los productos de la reacción son llevados hacia afuera exponiendo las superficies frescas a ataques, bajo condiciones estáticas, la estructura adyacente se puede saturar de agua, Si esto sucede la reacción desiste solamente después del ataque a la superficie.^[10]

En las etapas iniciales del deterioro por causa de ácidos naturales, los ataques generalmente afectan primero la pasta del cemento, siendo esta roída dejando a los agregados expuestos a la superficie.^[10]

1.4.3.6 Agua Desalada

El agua proveniente de mar, la cual ha pasado por un proceso de desalación, es un agua extremadamente pura y contiene solo una pequeña concentración de sólidos disueltos. Esta agua al momento de ser embodegada en estructuras de concreto, es capaz de deslavar el hidróxido de calcio de la pasta del cemento de la estructura, con un efecto similar de las etapas iniciales de los ataques ácidos.^[10]

1.4.3.7 Reacciones Álcali-Agregado

Algunos de los diferentes agregados que se pueden encontrar en las diferentes regiones de México, pueden reaccionar con los álcalis del cemento, con este tipo de reacción se produce una expansión y agrietamiento, esta reacción es mayor en las partes de la estructura que están expuestas a la humedad.^[13]

Los agregados que reaccionan con los álcalis se dividen en dos: los silíceos y algunas variedades de carbonatos de calcio con impurezas. La diferencia que existe entre estas dos reacciones, es el porcentaje de expansión que se puede dar, mientras que con la reacción álcali-sílice la expansión puede sobrepasar el 1.5% en el mortero y un .5% en el concreto causando que el concreto se fracture y se desintegre.^[13]

- Una forma de evitar este problema es haciéndole pruebas a los agregados para determinar sus propiedades químicas.

1.4.3.8 Carbonatación

Este fenómeno de la carbonatación en el concreto, se produce de manera natural dada por la reacción del bióxido de carbono que se encuentra en el ambiente penetrando al concreto y entrando en acción con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación, para dar lugar a la formación de carbonato de calcio. Como consecuencia de esta reacción, se generan dos efectos paralelos que dañan a la estructura^[5]:

- 1) Ocorre una reducción del volumen del concreto, que se conoce como contracción por carbonatación.
- 2) Se produce una disminución gradual de la alcalinidad del concreto, que avanza progresivamente desde la superficie expuesta hacia el interior de la estructura. Esta segunda consecuencia de la carbonatación es la que más influye en la corrosión del acero de refuerzo.

Se requiere que el concreto sea bastante resistente a la carbonatación, para de esta manera tener una alta alcalinidad y proteger el acero de refuerzo ahogado contra la corrosión.^[13]

- La carbonatación se puede evitar mediante el uso de aditivo en base microsilícica para tener una alta durabilidad en el concreto y aumenta su resistencia a los ataques químicos.

1.4.3.9 Corrosión en el acero de refuerzo

El acero de refuerzo que se encuentra ahogado en el concreto, tiene una cierta protección debido a esta capa protectora alcalina de concreto. El PH mayor a 12.5 protege al acero de refuerzo mediante una película de óxido no corrosiva y pasiva que lo cubre. Mientras estas condiciones

pasivas se mantengan es poco probable que el acero de refuerzo se corra. Un concreto bien compactado también nos da una buena barrera física, reduciendo la penetración del oxígeno de la atmósfera y la humedad, condiciones que son necesarias para iniciar y mantener el fenómeno de corrosión.^{[10][13]}

El inicio de la corrosión se da con la penetración gradual del dióxido de carbono a través de los poros y grietas en el concreto causando una reducción en su alcalinidad. La reducción en alcalinidad destruye el ambiente pasivo y deja al refuerzo en condiciones susceptibles a la corrosión. Este ambiente pasivo también puede ser destruido por la presencia de sales (comúnmente cloruros).^[10]

Los cloruros de sales algunas veces entran al concreto en servicio. Esto sucede en estructuras marinas, y a otras estructuras cercanas al océano debido a la brisa marina.^[10]

- La corrosión del acero de refuerzo se puede evitar con un aditivo inhibidor de la corrosión, se puede aplicar sobre la armadura limpia con brocha, o existen otros tipos que se pueden aplicar en forma de impregnación acuosa, penetra en el concreto por difusión líquida y de vapor hasta formar una monocapa de protección sobre el acero de refuerzo.

1.4.3.10 Daño por Fuego

Las construcciones de concreto son relativamente buenas para resistir el fuego, es decir el período de tiempo que el concreto resiste o mantiene un buen comportamiento bajo estas condiciones, es relativamente alto. El concreto es un conductor pobre del calor y, de hecho, la conductividad térmica va reduciendo conforme la temperatura va aumentando.^{[10][11]}

Un concreto reforzado debe de verificarse después de haber pasado por temperaturas altas, como por ejemplo un incendio. De esta manera se debe de verificar las condiciones en que se encuentran los elementos estructurales incluyendo las propiedades de los materiales y las deformaciones de los elementos que estuvieron en contacto con el fuego. Con esta información se procede a hacer una revisión estructural más a fondo para determinar si la estructura^[5]:

1. Puede continuar prestando el servicio requerido en el estado en que se encuentra, restaurándola.
2. Si se requiere de su rehabilitación estructural, y es factible repararla.
3. Si esta tan afectada que necesita ser demolida parcial o totalmente para ser remplazada.

En una estructura de concreto reforzado que ha sido expuesta al fuego, es más probable que el acero sufra más daño que el concreto, esto por las siguientes razones^[5]:

1. La acción del fuego es directa sobre el concreto, el acero en cierta forma esta cubierto por el concreto, dependiendo del espesor del recubrimiento del concreto.
2. A igualdad de temperaturas, el concreto se deteriora más en sus propiedades mecánicas.
3. La degradación del acero de refuerzo con el calentamiento tiende a ser reversible, o sea que al recuperar su temperatura inicial también recupera gran parte de sus propiedades originales, lo cual no ocurre con el concreto, sin embargo se puede alterar el f_y del material.

En el caso de la verificación del concreto, resulta particularmente útil definir si su temperatura no sobrepasa los 300 °C, pues normalmente se admite que a temperaturas inferiores a esta , el concreto no manifiesta excesiva pérdida de resistencia a la compresión.^[5]

A una temperatura entre los 300 y 400 ° C hay un mayor cambio químico pronunciado en la pasta del cemento. El silicato de calcio es convertido a óxido de calcio y sílice, y el concreto experimenta una apreciable pérdida de la resistencia. Los concretos que son expuestos a estas temperaturas tienen un distintivo cambio de color amarillo.^{[10][11]}

Capítulo 2

Evaluación del Concreto en Estructuras de Concreto.

La evaluación del concreto es vital para su reparación, es por eso que aquí se revisarán los puntos importantes que se deben tomar en cuenta en una inspección y cómo debe realizarse una evaluación del concreto en una estructura de concreto. Cuando las condiciones en las que se encuentra el concreto en una estructura indican que se requiere de una reparación o rehabilitación, se deberá de realizar una evaluación que nos permita definir los alcances de la reparación con el fin de lograr que la estructura siga funcionando.

Esta evaluación deberá de incluir lo siguiente: una revisión de los documentos que se tengan disponibles acerca de la construcción y diseño, una revisión a los registros de cómo ha operado la estructura desde su terminación, y los mantenimientos que se le hayan hecho, una inspección visual de las condiciones del concreto en la estructura, una evaluación de la estructura por medio de métodos de prueba destructivos y no destructivos, una evaluación de laboratorio de las condiciones de los especímenes de concreto recogidos de la estructura, un análisis de esfuerzo, y un análisis de estabilidad de toda la estructura.

2.1 Revisión de los datos de diseño.

Uno de los primeros puntos a revisar al momento de una evaluación, son los datos de diseño, aquí se incluyen todos los datos relacionados a la estructura, este proceso de revisión deberá ser minucioso. Los datos de diseño a considerar que pudiesen producir información útil para la rehabilitación son: memoria de diseño del proyecto, planos y especificaciones, reportes históricos de construcción, croquis de cómo se construyó, reportes o registros del concreto (incluyendo los materiales

utilizados, registros de operación y mantenimiento, y reportes periódicos de inspección.).^[14]

2.2 Inspección de las condiciones.

Una inspección de las condiciones involucra un análisis visual del concreto al descubierto con el propósito de identificar y definir las áreas de deterioro. Una inspección de las condiciones, usualmente incluirá un mapeo de las diferentes deficiencias del concreto que se pudiesen encontrar, tales como agrietamientos, problemas de la superficie, y deterioro de juntas. El mapeo deberá incluir una inspección y delineación de las tuberías y corredores eléctricos, empastes y conductos vacíos, y algunas otras aberturas similares. Adicionalmente, una inspección de las condiciones frecuentemente deberá incluir corazones de concreto para obtener especímenes para las pruebas y análisis de laboratorio.

A continuación se muestra una lista que recomienda la ACI, de las características de la estructura que se deberán de tomar en cuenta al momento de la inspección visual^[18]:

1. Descripción de la estructura
2. Condiciones en las que se encuentra.
3. Naturaleza de las cargas dañinas a los elementos.
4. Condiciones originales.
5. Materiales con que se construyó.
6. Practicas en la construcción.
7. Propiedades físicas iniciales del concreto.

En cierta forma estas son las características generales que se deberán de tomar en cuenta, sin embargo en construcciones especiales esta lista cambiará, dependiendo de la naturaleza de la construcción.^[18]

2.3 Reconocimiento de la estructura

2.3.1 Inspección visual. Una inspección visual del concreto es el primer paso en un reconocimiento en el sitio de la estructura. El propósito de dicho reconocimiento es de localizar y definir las áreas de deterioro. Es importante que las condiciones observadas sean descritas en términos claros para que después puedan ser entendidos por otros que no hayan inspeccionado el concreto.

2.3.1.1 Defectos de construcción. Algunos de los defectos de construcción que más se encuentran en el concreto, durante la inspección visual son: huecos, evidencia de juntas frías, acero de refuerzo expuesto, segregación, superficies irregulares causadas por cimbras mal alineadas, y una amplia variedad de manchas e irregularidades en la superficie. Estos defectos son típicamente resultado de una pobre habilidad en la mano de obra.^[14]

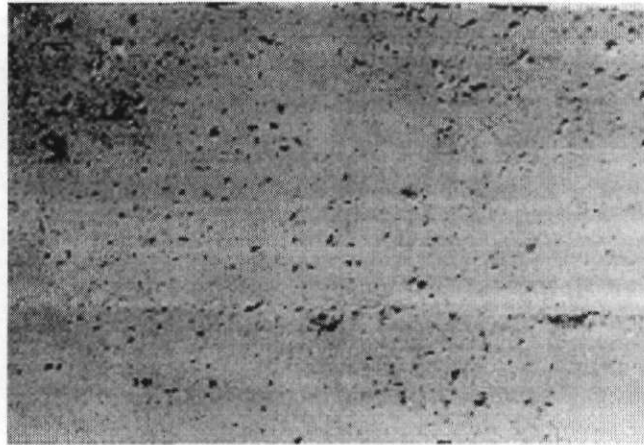


Figura 2.1, Defectos de huecos en una pared vertical

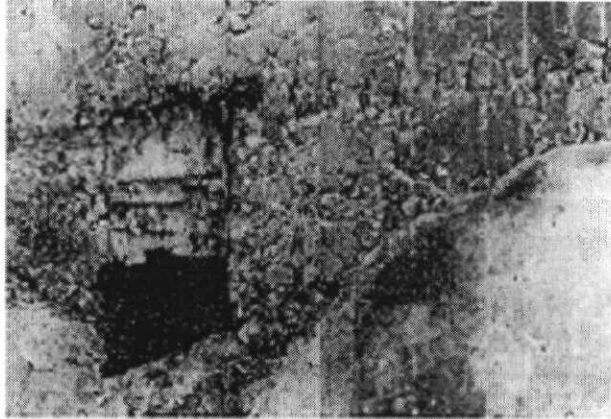


Figura 2.2, muestra segregación y juntas frías.

2.3.1.2 Agrietamiento. Las grietas que se presentan en el concreto pueden ser descritas de diferentes formas. Algunas de estas formas, las más comunes, son en términos de la apariencia en la superficie, profundidad de la grieta, ancho de la grieta, actual estado de actividad, estado físico del concreto cuando se presentaron las grietas, y la naturaleza estructural de la grieta. Basados en estos términos generales de clasificación, a continuación se discuten los diferentes tipos de grietas.^[14]

2.3.1.2.1 Apariencia de la grieta en la superficie. La apariencia de la grieta en la superficie nos puede dar la primera indicación de la causa de agrietamiento. Este tipo de grietas (Figura 2.3) son por lo regular grietas cortas, por lo general uniformemente distribuidas e interconectadas, que corren en todas direcciones.

2.3.1.2.2 Profundidad de la grieta. Las cuatro categorías generalmente utilizadas para describir la profundidad de la grieta son superficial, poco honda, profunda y que atraviesa toda la sección.^[14]

2.3.1.2.3 Ancho de la grieta. Son utilizados tres rangos de anchura: fino (menos de 1mm); mediano (entre 1 y 2 mm); y amplio (mas de 2mm).^[15]



Figura 2.3, grietas superficiales.

2.3.1.2.4 Estado activo o inactivo de la grieta. La actividad de la grieta se refiere a la presencia de los factores causantes del agrietamiento. La actividad deberá ser tomada cuando se seleccione el método de reparación. Existen dos categorías: grietas activas son aquellas por las cuales el mecanismo que las está causando está todavía en proceso. Si la grieta esta actualmente en movimiento, independientemente de por que la grieta se formó inicialmente o si las fuerzas que la están causando están o no trabajando deberá ser considerada como activa. También, cualquier grieta cuya causa no puede ser exactamente determinada deberá ser considerada activa. Grietas durmientes o inactivas son aquellas que no se están moviendo actualmente o por las cuales el movimiento es de tal magnitud que el material de reparación no será afectado por el movimiento.^[14]

2.3.1.2.5 Estado físico del concreto cuando se presentan las grietas. Las grietas deberán ser clasificadas en categorías de acuerdo al momento en que se presenta el agrietamiento, esto es antes o después de que el concreto haya endurecido. Esta clasificación es útil para describir el agrietamiento que se presenta cuando el concreto está fresco, ya que las grietas que se presentan en estado fresco no son consideradas grietas estructurales.

2.3.1.2.6 Naturaleza estructural de la grieta. Las grietas también podrían ser clasificadas en categorías de tipo estructural (causadas por cargas vivas o muertas excesivas) y no estructural (causadas por otros medios). Una grieta estructural usualmente será considerable en anchura, y la abertura tenderá a incrementarse como resultado de una carga continua. Es por eso que es difícil determinar durante la inspección visual si la grieta es de tipo estructural o no estructural. Dicha determinación requerirá frecuentemente de un análisis por un ingeniero estructurista. Cualquier grieta que haya sido detectada al momento de la inspección visual y que esta sea de una anchura considerable deberá ser informada al ingeniero estructurista.^[14]

2.3.1.2.7 Combinación de descripciones. Con el propósito de describir de una manera más acertada a las diferentes grietas que podemos encontrar, en ocasiones será necesario darle diferentes términos de las anteriores categorías.

2.3.1.3 Desintegración. La desintegración del concreto puede ser definido como el deterioro del concreto en pequeños fragmentos o partículas resultados de cualquier causa. La desintegración y la astilladura del concreto son diferentes por

causas de tamaño de desprendimiento del concreto, por un lado tenemos la desintegración que son partículas mas pequeñas, casi en polvo. Y por otro la astilladura que son partes mas grandes de concreto. Desintegración pudiese ser el resultado de una variedad de causas incluyendo un ataque agresivo del agua, congelamiento y deshielo, ataques químicos, y practicas pobres de construcción.^[14]

2.3.1.3.1 Descascaramiento del concreto. El descascaramiento es el quebrantamiento de concreto o mortero que se encuentra en la superficie de un elemento de concreto. El descascaramiento es frecuentemente un síntoma de daño por congelamiento y deshielo. Los grados de descascaramiento que se pueden dar en el concreto se definen a continuación: descascaramiento ligero es la pérdida de una pequeña capa superficial del concreto sin la exposición del agregado grueso. Descascaramiento mediano es la pérdida de una capa de mortero de la superficie de 5 a 10 mm de profundidad y la exposición del agregado grueso. Descascaramiento severo es la pérdida del mortero de la superficie de 5 a 10 mm de profundidad con algunas perdidas del mortero que rodeaba partículas de agregado de 10 a 20 mm de profundidad así que ese agregado está claramente expuesto y se mantiene fuera del concreto. Descascaramiento muy severo es la pérdida de partículas de agregado grueso así como el mortero de la superficie y el que rodeaba al agregado. Generalmente tiene una profundidad mayor a 20 mm.^[14]

2.3.1.4 Erosión. La erosión del concreto se clasifica de dos tipos generales, la erosión por abrasión y por cavitacion.^[11]

2.3.1.5 Falla del material de sello en las juntas. En el sellado de juntas se utilizan materiales que sirven como impermeabilizantes para evitar infiltraciones en elementos como firmes, pisos y muros. Las fallas se van presentando a medida que el material se despega de un lado o de ambos de la junta. En las Figuras 2.4 se muestran este tipo de fallas.^[14]

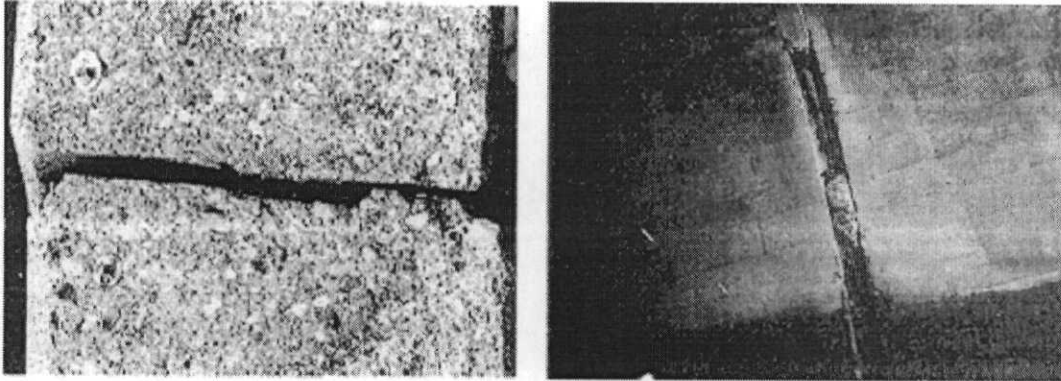


Figura 2.4, falla en el material de sello de juntas en el concreto.

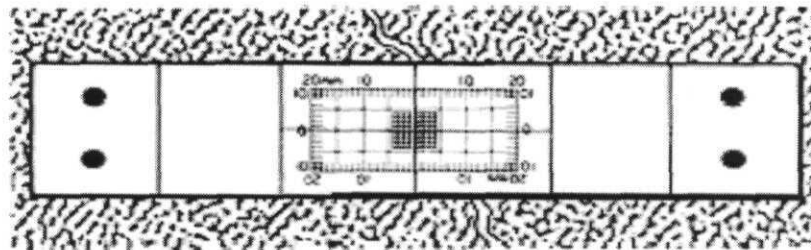


Figura 2.5, fallas por infiltración de agua en el concreto.

2.3.1.6 Fallas por infiltración. La infiltración se define como “el movimiento de agua u otros fluidos a través de los poros o intersticios”. Así como se puede detectar en la inspección visual la infiltración de agua u otros líquidos en los elementos de concreto, también junto a esto se puede detectar la presencia de corrosión, decoloración, manchas, exudación, florecimiento, y sarro (como se muestra en la figura 2.5).^[14]

2.3.2 Reconocimiento de los tipos de agrietamiento. El propósito del reconocimiento de grietas en una estructura de concreto es el de localizar, marcar, identificar grietas y determinar la relación de las grietas con otros fenómenos destructivos. En la mayoría de los casos, el agrietamiento es el primer síntoma de la angustia del concreto. El primer paso en el reconocimiento de grietas es el de localizar y marcar las grietas y definir su tipo.^[16]

2.3.2.1 Ancho de las grietas. La anchura de las grietas pueden ser estimadas mediante el uso de una tarjeta que tenga líneas marcadas de anchuras predeterminadas. Con esta tarjeta para comparar las grietas, las anchuras de las grietas pueden ser medidas con una precisión aproximadamente de 0.025 mm, esto con la ayuda de una lupa de bolsillo. Los movimientos de las grietas pueden ser monitoreadas con un aparato de medición de grietas. El monitor de grietas mostrado en la Figura 2.6 nos da una lectura directa del desplazamiento y rotación de la grieta.^[14]



Newly Mounted Monitor

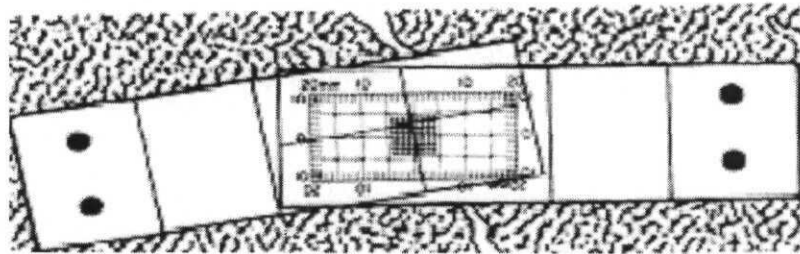


Figura 2.6, monitoreo de grietas.

2.3.2.2 Profundidad de las grietas. Si las condiciones del lugar y la anchura de la grieta lo permite, se deberá de medir la profundidad de la grieta mediante la observación de bordes o la introducción de un calibre para el ancho de la grieta; sin embargo, en la mayoría de las situaciones, la profundidad de la grieta no puede ser determinada, al menos que se utilice un método destructivo, como la extracción de un corazón.

2.3.2.3 Causas de agrietamiento. Las condiciones que pudiesen estar asociadas con la causa del agrietamiento deberán de ser bien descritas. Estas condiciones podrían incluir infiltración de humedad a través de las grietas, astilladuras de los bordes, diferentes movimientos.^[14]

2.3.2.4 Variación del ancho de la grieta. Cuando se sospecha que la anchura de la grieta varía dependiendo de las condiciones de carga, será importante realizar varias mediciones con diferentes tipos de cargas. Además, golpeando ligeramente la superficie con un martillo se podrían detectar grietas poco hondas paralelas y debajo de la superficie. Cuando se golpea la superficie del concreto y se escucha un sonido hueco, puede indicarnos que existe una grieta de este tipo aunque no sea visible.

2.3.3 ***Mapeo de la superficie.***

El mapeo de la superficie es un procedimiento paralelo a la inspección del agrietamiento en el cual el deterioro de la superficie del concreto se localiza y describe. El mapeo de la superficie pudiera lograrse por medio del uso de croquis detallados, fotografías, películas, o video casetes. Para el mapeo de la superficie o firmes, se recomiendan los siguientes accesorios:^[14]

- Croquis de la estructura, si se tiene disponible.
- Libreta de campo.
- Cinta de medir, 15 a 30 m.
- Regla graduada en 1 mm.
- Calibrador para ancho de grieta.
- Comparador de bolsillo o microscopio de mano.
- Navaja.
- Martillo de 1 kg.
- Cable fino, no muy flexible.
- Cuerda.
- Linterna.
- Cámara con flash con variedad de lentes.

- Variedad de películas, de color y alta velocidad.

El reconocimiento de la superficie deberá empezar en una terminación de la estructura y proseguirá de una manera sistemática hasta que toda la superficie sea trazada. Tanto la superficie externa como la interna deberán ser trazadas si es posible el acceso. Las áreas donde se tengan fallas significantes deberán ser fotografiadas para referencias posteriores.

En las fotografías se deberá de poner un objeto familiar a manera de saber la medida a escala de las deformaciones o grietas encontradas. Es importante el describir claramente cada condición trazada, se deberá de evitar generalizaciones y detalles escuetos de las observaciones. Las fotografías tomadas a perfil son muy útiles para darnos una idea de la profundidad de la erosión.

2.3.4 Reconocimiento de las juntas. Este reconocimiento es una inspección visual de las juntas en la estructura para determinar su condición. Se deberán de localizar y describir las juntas de expansión, contracción, y construcción, indicando las condiciones en que se encuentran. Las juntas que se encuentren desplazadas o abiertas, se deberán de verificar por movimiento; se deberán de considerar varias condiciones de carga al momento de tomar las mediciones de anchura de las juntas. Todas las juntas deberán ser verificadas por defectos; por ejemplo, infiltración, astilladuras, ataques químicos.^[14]

2.3.5 **Corazones de concreto.** El método más común y efectivo para medir la resistencia a la compresión del concreto que esta en una estructura, es mediante la extracción o corte de corazones de concreto. Sin embargo existen ciertos problemas para poder interpretar los valores obtenidos de estas pruebas, los problemas que se pudiesen tener se relacionan con la heterogeneidad de toda su masa, y los valores que se obtuvieran, varían casualmente.^[16]

2.3.5.1 La resistencia a la compresión de los corazones de concreto extraídos es generalmente menor a la de los cilindros testigo, esto debido al curado en sitio de la estructura, por ende el concreto colado en el lugar no tiene las mismas condiciones ni cuidados que tuvo el cilindro testigo. También pudiese suceder que al momento de la extracción del corazón, este se haya dañado en el proceso.^[16]

2.3.5.2 El radio de esfuerzo del corazón de concreto no es la misma resistencia que la de un cilindro testigo, de tal forma que el tamaño y la relación diámetro altura hacen que los resultados difieran, para lo cual se debe seguir las recomendaciones de la misma con el propósito de obtener resultados validos.^[16]

2.3.5.3 La resistencia del corazón extraído dependerá de la localización y posición en que se encontraba en la estructura. Los concretos que se encuentran cerca de la superficie del elemento estructural son mas débiles que los que se encuentran en el interior, esto por efecto del sangrado y por el asentamiento de los agregados gruesos.^[16]

2.3.5.4 Los corazones deberán ser marcados, para así poder identificarlos, así como también, en los croquis se deberá especificar el lugar de donde se tomaron los corazones. Una vez extraído el corazón se deberá de rellenar el agujero con un concreto de cero contracción para evitar infiltraciones, y humedad.^{[14][15]}

2.4 Investigaciones de laboratorio.

Una vez que se han obtenido las muestras del concreto, extracción de corazones, estos deberán ser examinados en un laboratorio calificado. En general, los exámenes acostumbrados pueden incluir los que se describen a continuación.^[16]

2.4.1 Examen petrográfico. El examen petrográfico consiste en clasificar el tipo de rocas de las cuales se componen los agregados del concreto. El examen petrográfico debe incluir inspección visual de las muestras, inspección visual de los diferentes niveles de ampliación utilizando microscopios apropiados, análisis de difracción de rayos X, análisis de diferencial térmico, técnicas de emisión de rayos X, y análisis de secciones delgadas. La información con la que podemos contar con el examen petrográfico es la siguiente^{[15][14]}:

- 1) Condición de los agregados.
- 2) Reacciones pronunciadas del cemento agregado.
- 3) Deterioro de las partículas de agregado en el lugar.
- 4) Densidad de la pasta del cemento.
- 5) Homogeneidad en el concreto.
- 6) Profundidad y magnitud de la carbonatación.
- 7) Casos y distribución de grietas o fracturas.
- 8) Características y distribución de vacíos.

9) Presencia de sustancias contaminantes.

2.4.2 Análisis químico. Con este análisis, se puede determinar algunos contenidos del concreto como: la cantidad de cemento, la relación original agua/cemento, y la presencia y cantidad de cloruros y otras sustancias.^[16]

2.4.3 Análisis físico. Las siguientes son pruebas físicas y mecánicas generalmente realizadas a los corazones de concreto.

- Densidad.
- Resistencia a la compresión.
- Módulo de elasticidad.
- Relación de poisson.
- Velocidad de pulso.
- Resistencia del concreto al deterioro causado por congelamiento y deshielo.
- Contenido de aire.
- Resistencia a la abrasión

2.5 Pruebas no destructivas.

Las pruebas no destructivas sirven para darle una idea al diseñador acerca de las propiedades que tiene el concreto sin hacerle daño a la estructura. La selección de la mayoría de los métodos aplicables requerirá de un buen juicio basado en la información necesaria, tamaño y naturaleza del proyecto, condiciones del sitio y riesgo de la estructura. La correcta utilización de las pruebas no destructivas requieren de personal con la experiencia suficiente para saber escoger y utilizar la correcta herramienta en las diferentes circunstancias que se pudiesen presentar. Los métodos de pruebas son clasificados en aquellos que son utilizados para evaluar su resistencia en el lugar y aquellos que son utilizados para encontrar defectos

ocultos. En la primera categoría, se incluyen diferentes tipos de pruebas como: de extracción (pullouts), de romper (break off), de torsión, y el método de madurez (maturity). En la segunda categoría, se incluyen una revisión de la termografía infrarroja, radar de penetración de campo, y varios métodos basados en la propagación de ondas de tensión.^{[14][15]}

2.5.1 Número de rebote (martillo).

2.5.1.1 Descripción. La forma en que trabaja este aparato es impactando una masa accionada por un resorte a un embolo el cual esta en contacto con la superficie. La distancia la cual rebota la masa es la medida que se tiene de la dureza del concreto (Figura 2.7). Con esta distancia obtenida del rebote de la masa se indica una lectura R la cual esta graduada usualmente de 0 a 100. La determinación de los valores R están delineadas por el manual dado por el proveedor del martillo. Los valores R indican el coeficiente de compensación del concreto; los valores incrementan con la resistencia del concreto.^[10]

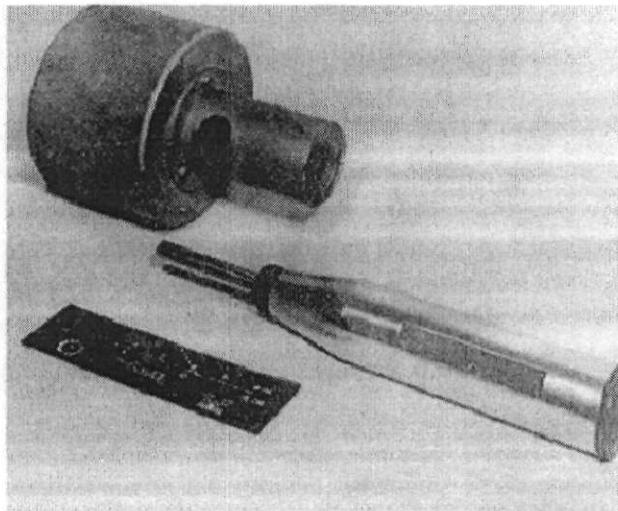


Figura 2.7, numero de rebote, martillo.

2.5.1.2 **Martillo de Rebote.** El propósito de este aparato es el de determinar la dureza de la superficie de un concreto. La mayoría de los martillos vienen con una grafica, con el propósito de mostrar la relación entre esfuerzo a la compresión del concreto y las lecturas de rebote (lecturas R). Sin embargo, en vez de depositar confianza en dichas graficas, los usuarios deberían desarrollar sus propias relaciones para cada mezcla de concreto y cada martillo de rebote.^[14]

2.5.1.3 **Ventajas.** El martillo de rebote es un método no destructivo sencillo y rápido para medir la dureza de la superficie del concreto en el lugar. El equipo no es caro y puede ser operado por personal de campo con una limitada cantidad de instrucciones. El martillo de rebote es muy útil en la evaluación general de la calidad del concreto y para la localización de áreas de calidad pobre. Se pueden tomar un gran número de mediciones rápidamente de tal forma que se pueden trazar grandes áreas de concreto expuesto en pocas horas.

2.5.1.4 **Limitaciones.** El método de rebote es una prueba impredecible y no nos da una predicción confiable de la resistencia del concreto. Las medidas de rebote en el lugar del concreto son afectadas por (a) suavidad del concreto en la superficie; (b) contenido de humedad en el concreto; (c) tipo de agregado grueso; (d) tipo, forma, y rigidez del espécimen; (e) la carbonatación de la superficie del concreto.^[14]

2.5.2 ***Resistencia a la penetración.***

2.5.2.1 Esta prueba se le conoce comercialmente como prueba de sondeo de windsor, una pistola especial (Figura 2.8). Esta prueba calcula la resistencia del concreto a partir de la

profundidad de la penetración de una varilla metálica de diámetro de 0.32 plg impulsada por una cantidad estándar de pólvora. Esta prueba consiste en una serie de tres penetraciones hechas en cada área con el plato espaciador mostrado en la Figura 2.9. la distancia de la probeta extendida de la superficie del concreto puede ser medida con un simple aparato, como se muestra en la Figura 2.10. ^{[16][11]}



Figura 2.8, pistola de windsor

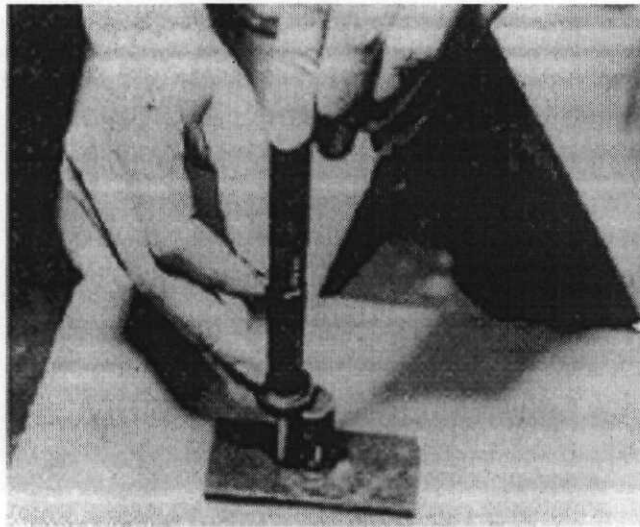


Figura 2.9, aparato para medir la longitud de penetración.



Figura 2.10, uso de la probeta de windsor.

2.5.2.2 Los fabricantes proveen de un conjunto de cinco curvas calibradoras, cada una corresponde a una específica dureza Moh's para el agregado grueso utilizado en el concreto. Con estas curvas, la medida de la probeta pretende ser convertida a valores de esfuerzo a la compresión. Sin embargo, el uso de las curvas calibradoras de los fabricantes a menudo resultan estimaciones incorrectas del esfuerzo a la compresión del concreto. Es por eso, la penetración de la probeta deberá ser recalibrada cuantas veces cambien el tipo de agregado en la mezcla.^[18]

2.5.2.3 Ventajas. El equipo de la probeta es sencillo, durable, requiere poco mantenimiento, y puede ser utilizado por inspectores en el campo con poco entrenamiento. La prueba de la probeta es muy útil en la evaluación de la calidad general y el esfuerzo relativo del concreto en diferentes parte de la estructura.^[18]

2.5.2.4 Desventajas. Al momento de realizar la prueba se debe de tener bastante cuidado, pues la probeta es disparada, y pudiese causar un accidente; una de la limitaciones de este método es que solo mide la resistencia que se tiene en la superficie según penetra la probeta, debido a esto no se pueden obtener las propiedades del concreto que se encuentra en el centro de la masa; no rinde mediciones precisas de la resistencia del concreto en el lugar; sin embargo, se pueden obtener estimaciones útiles del esfuerzo a la compresión del concreto si la probeta esta apropiadamente calibrada. La prueba de la probeta no daña el concreto, esta prueba solo deja un agujero de acerca 8 mm en diámetro por la profundidad de la probeta, y podría causar un agrietamiento menor y algún astillamiento de la superficie. Las reparaciones que pudiesen ser necesarias serian menores, solo en la superficie.^{[14][11]}

2.5.3 **Método de la velocidad de pulso ultrasónico.**

2.5.3.1 Descripción. Esta técnica es una de las más convenientes para evaluar la calidad y continuidad del concreto, para indicarnos la presencia de vacíos y grietas, estimar las profundidad de la grieta, y para evaluar la efectividad de la reparación de grietas. El aparato que se muestra esquemáticamente en la Figura 2.11, se utiliza para determinar la velocidad de pulso a través de un espesor conocido del concreto, utilizando el procedimiento descrito en la norma ASTM C597.^[17]

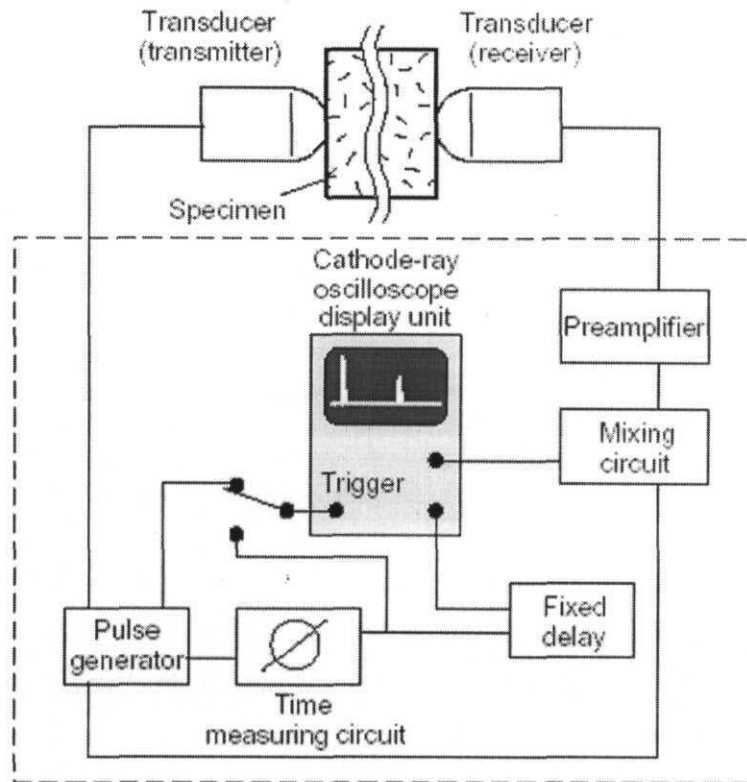


Figura 2.11, diagrama esquemático de la prueba de velocidad de pulso.[fuente ASTM C597]

Las medidas de velocidad de pulso hechas a un concreto continuo y de buena calidad normalmente producirán altas velocidades. Por el contrario un concreto de mala calidad y discontinuidad usualmente dará velocidades mas bajas, lo cual son señales de baja resistencia. Por otra parte concreto de buena calidad, pero con grietas producirá velocidades altas que decrecen súbitamente.^[17]

2.5.3.2 Ventajas. El equipo requerido es portátil (Figura 2.12) y tiene suficiente poder para funcionar a través de espesores de 0.3 a 6 m. de concreto continuo de buena calidad, la prueba puede ser realizada rápidamente.

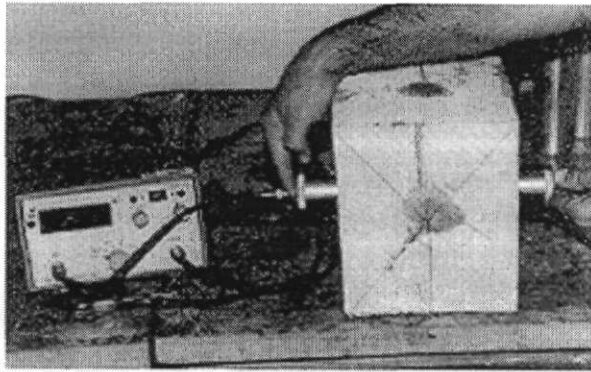


Figura 2.12, aparato de velocidad de pulso

2.5.3.3 Desventajas. Este método es afectado por ciertos factores que se le podrían presentar, uno de ellos es la humedad, la velocidad de pulso decrece cuando el elemento a evaluar está húmedo. Otro factor que afecta a estas velocidades, es la presencia acero de refuerzo, con este la velocidad tiende a incrementarse. Se requiere de personal especializado para interpretar los resultados dados por este aparato. Para llevar a cabo esta evaluación se requiere estar en ambos lados del concreto, siendo que en ocasiones esto sea posible.^[17]

Capítulo 3

Materiales para la Reparación y Protección de los Elementos de una Estructura de Concreto.

Una estructura de concreto esta formada por varios elementos (vigas, columnas, zapatas, losas, muros y otros), y de estos elementos se espera, cumplan con un tiempo de vida determinado.

Como se revisó en el Capítulo 1, existe una infinidad de fallas y motivos de deterioro, y de igual manera existen productos para estas reparaciones. En este capítulo sólo se hablará de las fallas más comunes que se presentan y algunos de los materiales que hay en el mercado para su reparación. De estos materiales se compararan los precios, la forma de aplicarlos y los cuidados especiales que necesitan para su almacenamiento.

3.1 Fallas comunes en las edificaciones.

En una encuesta que se realizó en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, a las empresas Sika Mexicana S.A. de C.V., Empresas Probert S.A. de C.V., y Construcciones y Equipos S.A. de C.V., dedicadas a la venta de materiales de reparación para estructuras de concreto, se encontró que las fallas más comunes en las edificaciones son grietas en muros de concreto, juntas frías defectuosas, y la permeabilidad que sufren los muros de contención de los sótanos al contacto con el suelo salitroso.

3.2 Materiales para la reparación de grietas

El capítulo 2 cubre los detalles de las grietas como son: tipo de grietas, la clasificación dependiendo de la anchura, profundidad, estado actual, y si es de tipo estructural o no estructural.

Dependiendo de las características de la grieta existen diferentes productos para su reparación, estos son de dos tipos: epoxicos de pasta o resinas de consistencia gelatinosa y epoxicos de baja viscosidad.

Los epoxicos de gel se aplican con espátula y son para grietas amplias (más de 2 mm), y los epoxicos de baja viscosidad son aplicados por gravedad o por inyección, si el ancho de la grietas es fino (menos de 1mm) se aplica por inyección, y si es de ancho mediano (entre 1 y 2mm) puede ser aplicada por gravedad.

3.2.1 Epoxicos de pasta. (resinas de consistencia gelatinosa)

Las resinas epoxicas han encontrado un campo ideal en la industria de la construcción por los diferentes tipos de aplicaciones que tienen en las reparaciones, estos materiales ofrecen respuestas a problemas difíciles de resolver con materiales convencionales.^[20]

Uno de los problemas difíciles de resolver con materiales convencionales son las grietas menores a 10 mm. Para grietas que estén en el rango de amplitud de 2 a 10 mm, se recomienda ser parchadas con este tipo de epoxico de pasta o gel, este epoxico sirve también para sellar las grietas pequeñas del lado externo de los muros verticales, para aplicar posteriormente por inyección de una resina de baja viscosidad. Este sellado tiene como propósito el no dejar que la resina de baja viscosidad gotee,

para así quedar atrapada dentro de la grieta sellando perfectamente el interior.^[18]

Todos los materiales que están disponibles en el mercado parecen cumplir con las demandas de la reparación. Uno de los problemas más significativos que pudiese presentar este producto es el de proporcionar la resistencia a la compresión suficiente dependiendo de la resistencia del concreto a reparar. Estas pastas tienen resistencias altas a temprana edad.^[18]

Los requisitos que se deben de considerar para escoger el material indicado para la grieta, son los siguientes:

- El material deberá de ser tan durable como el concreto a reparar.
- Se tomará en cuenta los requerimientos mínimos para su preparación en el lugar.
- Se deberán de tomar en cuenta la temperatura del lugar y la humedad que presenta el concreto a parchar.
- El material deberá de ser compatible químicamente con el concreto.
- El material deberá de tener un color similar al concreto (opcional).

Las resinas de consistencia gelatinosa que se encontraron en estas empresas se muestran a continuación en la Tabla 3.1, juntos con sus precios al momento de este trabajo, contenido neto, rendimientos y resistencias a la compresión a los 7 días.

Tabla 3.1, Epoxicos de pasta (resinas de consistencia gelatinosa)

Marca	Nombre del Producto	Precio	Precio por Lt	Cont. Neto	Resistencia los 7 dias
sika	Sikadur -31Adhesivo	\$117.00	\$153.95	0.76 Lt	520 Kg/cm ²
sonneborn	Sonocrete Epogel	\$283.64	\$472.73	0.60 Lt	790 Kg/cm ²
sealtight	Resiweld Gel Paste	\$214.00	\$225.26	0.95 Lt	597 Kg/cm ²

La forma general de aplicar este tipo de producto es la siguiente:

1. Lo primero que se debe de hacer es limpiar la superficie para garantizar que el epoxico de gel se pegará al concreto, en el capitulo 4 se puede encontrar los tipos de limpieza que se le pueden dar al concreto y la forma de proceder.
2. Los epoxicos siempre vienen en dos soluciones, las cuales se mezclan de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Se debe tener cuidado al mezclar los materiales, ya que la mezcla tiene un tiempo determinado para aplicarse, pues después se endurece y no sirve igual. Se debe de mezclar solo el material a utilizar.
3. Este epoxico puede servir para sellar grietas al mismo tiempo que se convierte en puertos de inyección para epoxicos de baja viscosidad. Primero se aplica el producto mezclado con una espátula, embarrando el material en el concreto y alrededor de los puertos de inyección, de esta manera se sellarán las grietas.
4. Se deja que se cure el producto durante el tiempo que el fabricante lo indique, por lo regular no más de un día, antes de inyectarle a presión la resina de baja viscosidad.

3.2.2 Resinas epóxicas de baja viscosidad.

Algunos de los mayores problemas que se tienen en las grietas internas, o de anchura menor de 2mm, es el difícil acceso de materiales para su reparación, para estos problemas se encuentran las resinas epoxicas de baja viscosidad o alta fluidez. Estas resinas pueden ser aplicadas de dos formas, inyectadas a presión o por gravedad, dependiendo de la profundidad de la grieta y su anchura.

En cada uno de los dos métodos se utiliza una resina epóxica diferente, y la diferencia entre estas resinas es la viscosidad, mientras que

la resina utilizada en el método de gravedad es de baja viscosidad, en el método de inyección se utiliza una con viscosidad muy baja.

El método por gravedad consiste en aplicar este producto sobre la grieta y dejar que se absorba hasta que quede una capa en la superficie, esto nos indicará que la grieta está saturada totalmente por el epóxico, este método se utiliza cuando la grieta es de ancho mediano (de 1 a 2mm), y donde la profundidad de la grieta no es muy grande.

El método por inyección se utiliza para grietas finas (menores a 1mm) y de profundidad considerable, ya que la presión y la baja viscosidad del epóxico hacen que este material sature a la grieta a lo largo de su profundidad.

Una de las características de las resinas epóxicas, es que al momento de su endurecimiento ya no se vuelven a diluir, aunque pasen por temperaturas altas, algunas de las propiedades principales de estos materiales se enumeran a continuación:^[20]

1. Endurecimiento sin pérdida apreciable de volumen
2. Buena adherencia a la mayoría de los materiales
3. Altas resistencias mecánicas
4. Excelente resistencia al agua y a soluciones acuosas de diferentes productos químicos
5. Alto aislamiento eléctrico
6. Es autonivelante
7. Dualidades naturales para eliminar huecos
8. Termoestabilidad
9. Una vez endurecido el epóxico nunca vuelve a su antiguo estado líquido.

Los materiales epóxicos que se encuentran en el mercado, consisten siempre de dos componentes, una resina y un catalizador (endurecedor), a los cuales son adicionados pigmentos, cargas y aditivos líquidos y sólidos. Estos dos componentes los fabricantes los manejan como, componente A y componente B. A estos se mezclan por varios minutos hasta obtener una mezcla homogénea.^[20]

Se muestran en la Tabla 3.2, los materiales encontrados en el mercado para este propósito, en la misma tabla podemos apreciar los precios de los productos al momento de este trabajo, su contenido, y precio por unidad.

Tabla 3.2, Epóxicos de baja viscosidad (resinas de consistencia líquida)

Marca	Nombre del Producto	Precio	Precio por Lt	Cont. Neto
sika	Sikadu -52 Inyeccion	\$138.00	\$145.26	0.95 Lt
sonneborn	Epofil	\$283.64	\$630.31	0.45 Lt
sealtight	Resiweld Lv	\$214.00	\$225.26	0.95 Lt

3.3 Materiales para unir concreto viejo a concreto nuevo

Este material de reparación es un adhesivo epóxico estructural de dos componentes, de 100% sólidos de mediana viscosidad, puede ser autonivelante o aplicable con espátula. Una de las fuertes características de este material y por lo cual se utiliza para la unión de concreto viejo a nuevo, es que ofrece un alto modulo de elasticidad (alrededor de los 2,380 Mpa a los 7 días).

En la Tabla 3.3, se muestran los materiales que fueron encontrados para este problema, en esta misma tabla se muestra el precio por unidad, contenido neto, y resistencia a la adherencia.

Tabla 3.3, Adhesivo epoxico estructural para union de concreto viejo a nuevo

Marca	Nombre del Producto	Precio	Precio por Lt	Cont. Neto	Adherencia
sika	Sikadur -32	\$117.00	\$151.95	0.77 Lt	120 Kg/cm ²
sonneborn	Sonocrete Epogrip	\$1,247.40	\$160.75	7.76 Lt	196 Kg/cm ²
sealtight	Resiweld 1000	\$190.00	\$200.00	0.95 Lt	232 Kg/cm ²

3.4 Materiales para la impermeabilización de muros

Existen diferentes fuerzas que son causantes de que el agua pueda permear al concreto. Está la presión hidrostática, la acción de capilaridad, la brisa, la presión de vapor, o la acción en conjunto de algunas de ellas. El agua encuentra caminos a través de los poros del concreto, grietas, defectos de construcción, o a través de juntas que no han sido selladas apropiadamente.^[18]

El índice de corrosión del acero de refuerzo depende mucho de la humedad y contenido de cloros del concreto. Manteniendo el concreto seco después del curado, como también reduciendo la penetración de los cloros, se puede de manera efectiva prevenir la corrosión.^[18]

En el caso de sótanos, la parte exterior de sus muros quedan en contacto con el suelo, el cual pudiese contener humedad y salitre, un muro de concreto por si solo no es impermeable, esto aunado a defectos que pudiese tener al momento de la construcción, causaría fácilmente la infiltración de humedad y por lo tanto deterioro a los muros.

Se deberá de considerar un sellado a los muros desde el principio para evitar que el agua se introduzca en ellos. Un trabajo de sellado o impermeabilización de muros para evitar este problema es caro, sin embargo se considera una operación necesaria y válida.^[19]

A continuación se muestra en la Tabla 3.4, un par de ejemplos de materiales de reparación que se encontraron para este problema, en la misma tabla podemos ver los precios al momento de este trabajo, precio por unidad y la base de formulación del impermeabilizante.

Tabla 3.4, Recubrimiento Impermeable

Marca	Nombre del Producto	Precio	Precio por Kg	Cont. Neto	base del material
sika	Sika -101	\$332.50	\$13.30	25.00 Kg	cemento
sonneborn	Superthoroseal	\$365.72	\$22.86	16.00 Kg	cemento

3.5 Precauciones en el manejo de los materiales de reparación

La mayoría de los materiales utilizados en la reparación pueden ser seguros si se toman las medidas de precaución necesarias y se utiliza el equipo y personal calificado.^[18]

Algunas de las aplicaciones en la reparación son muy peligrosas, esto por la cantidad y características de los materiales tóxicos, que inclusive con el máximo resguardo, en algunas ocasiones se deberán de evitar.^[18]

Existen cuatro peligros elementales en la utilización de los materiales de reparación en base cemento y polímero. Estos cuatro peligros son del tipo de fuego, explosión, reactividad y sanidad, y se describen a continuación:

3.5.1 Fuego

Los productos polímeros que contienen solventes son flamables. En muchos casos la base de la resina es también flamable, particularmente en el estado líquido. En áreas cerradas es particularmente peligroso cuando la resina epóxica está siendo aplicada. Es por esto que cuando se está

aplicando la resina epóxica se deberá evitar chispas y fuego alrededor de la aplicación.^[18]

3.5.2 Explosión

Una explosión se presenta cuando un volumen de vapor de aire reacciona instantáneamente. Una explosión se puede presentar inclusive sin fuego, inclusive comúnmente están combinados con la explosión que enciende la resina líquida. Esto sucede cuando existe suficiente vapor del solvente de la resina en el aire y reacciona una chispa o flama, causando la explosión.^[18]

Las explosiones son probablemente el peligro más grande, esto por las potenciales pérdidas de vidas y materiales. Es por eso que se debe de revisar bien las características flamables de los materiales para evitar fenómenos de explosión.^[18]

3.5.3 Reactividad

Muchos de los polímeros y resinas epóxicas, pueden generar una cantidad sustancial de calor al momento de haber sido mezclados los componentes del producto (resina y endurecedor), es por eso que la resina mezclada deberá ser usada rápidamente.

3.5.4 Sanidad

Los materiales de reparación en su mayoría están hechos a base de resinas epóxicas y cemento. El cemento no causa daño cuando entra en contacto con la piel, a diferencia de las resinas epoxicas. A continuación se muestran las precauciones que se deben de tomar y los efectos que se podrían tener al contacto con estos químicos.

Antes de ser mezclados los dos componentes de las resinas epoxicas si entran en contacto con la piel pueden causar irritaciones, reacciones alérgicas, o una combinación de estas. Algunos de los materiales que endurecen rápidamente, contienen agentes de compuestos químicos, los cuales pueden causar irritaciones en los ojos y piel. Estos en algunas ocasiones también pudieran causar quemaduras leves en la piel.^[18]

Los diluyentes reactivos y epóxicos se caracterizan por tener un peso molecular bajo, baja viscosidad y presión de vapor relativamente baja. Se sabe que pueden ocasionar irritaciones en la membrana mucosa, y alergias en la piel. Es por eso que se debe evitar el contacto directo con estos materiales en su estado liquido o de vapor.

3.6 Manejo de los materiales de reparación

Para evitar los peligros que existen por causa del manejo de materiales químicos para la reparación, se necesita que el personal que vaya a utilizar este material, esté instruido para el uso de los mismos, y que esté consciente de los riesgos que esto lleva, para tomar las consideraciones debidas en el manejo de los materiales. Se deberán de vigilar constantemente las medidas de seguridad que toma el personal técnico para evitar peligros.^[18]

El área de trabajo se deberá mantener siempre limpia, en el lugar de trabajo se deberá tener toallas o papel de algodón para la limpieza de químicos que se derramen o para limpiar accidentes inmediatamente. Estas toallas se deberán de tirar después de haberlas usado, para evitar una reacción al momento de limpiar el derrame de otro químico.

Las herramientas utilizadas que contengan resinas no fraguadas y mezclas endurecidas se deberán de limpiar después de haber sido utilizadas, esto para prevenir el contacto de los químicos con el personal. La limpieza requerirá el uso de guantes de goma, delantal de goma, lentes de protección, y deberá de hacerse de tal forma de que se evite la inhalación del vapor.^[18]

3.7 Equipo de protección para el personal técnico

El equipo de protección minimiza las irritaciones en reparaciones donde el contacto con los materiales de reparación no se puede evitar. Los equipos que se utilizan para proteger la piel son: guantes de plástico, delantales y alguna bata con mangas largas. Se deberá de inspeccionar que a los guantes no se pueda infiltrar algún químico.

Durante la mezcla de los materiales se deberá de utilizar gafas o algo que proteja la cara. Para los materiales que se recomienda esto son: resinas líquidas, agentes de curado, diluyentes modificados y solventes.

3.8 Ventilación

Una apropiada ventilación es la clave para la aplicación segura de materiales de reparación orgánicos y polímeros. El área de trabajo deberá ser provista de un adecuado equipo de ventilación de tal forma que el aire sea remplazado de 3 a 5 veces por hora.^[19]

Para evitar riesgos en la salud como consecuencia de la inhalación de vapores orgánicos y polvo. Es esencial tomar en cuenta las siguientes medias de precaución:

1. Extraer el vapor a los niveles más bajos posibles en espacios confinados.

2. Ventilar las áreas de trabajo y almacenamiento
3. Evitar altas temperaturas innecesarias de fraguado de los materiales
4. Utilizar mascarar con filtro para respirar si las recomendaciones anteriores no se pueden cumplir.
5. Cerrar los contenedores inmediatamente después de haber sido utilizados.

3.9 Almacenamiento

Los requerimientos para el almacenamiento de los epoxicos, resinas de poliéster, y químicos auxiliares varían ampliamente, dependiendo de sus componentes individuales, su flamabilidad, vida en el recipiente, y otros factores.

Las áreas de almacenaje deberán de ser frescas y ventiladas, los equipos eléctricos en estas áreas deberán de ser instalados de acuerdo con sus requerimientos y estándares que los regulan debido al fuego. ^[18]

3.10 Primeros auxilios

En las fichas técnicas de los productos de reparación dadas por los fabricantes vienen las medidas que se tienen que tomar al momento de tener contacto directo con el material o al haberlo ingerido. Las personas que sientan mareos, dolores de cabeza u algún otro síntoma extraño al momento que entró en contacto con el material, deberá de ser transferida fuera de la zona de mezcla o aplicación.

Capítulo 4

Consideraciones para la Reparación y Rehabilitación en el Concreto.

La selección del método de reparación es un paso crucial en la rehabilitación de una estructura de concreto. Es a menudo un proceso que considera varios factores como el económico, técnico, y otros que son puramente prácticos. Una inefectiva reparación o procedimiento de construcción, nos puede llevar a una reparación de calidad inferior a la esperada o deseada.^[18]

Las consideraciones que se hagan antes de la reparación, son tan importante como la reparación en si. La apropiada selección de los materiales de reparación y la preparación de la superficie son esenciales para obtener una reparación de alta calidad, durable y funcional.

Cuando se ha diagnosticado la causa principal del deterioro de la estructura, la selección de los materiales, método de remoción y de reparación deberá de seleccionarse basándose en las siguientes consideraciones:^[18]

1. Los ajustes o modificaciones requeridos para remediar las causas primarias por las que se está dando el deterioro.
2. Las restricciones que se tienen para el acceso a la estructura, restricciones de peso o equipo, clima y calendario de operación de la estructura.
3. Ventajas y desventajas de hacer una reparación permanente o temporal.
4. La disponibilidad de los materiales de reparación y métodos.

5. La opción más económica de materiales y métodos que cumplan con la reparación requerida.
6. Las restricciones que se tienen como de: ruido, polvo, vibración.

4.1 Preparación del Elemento a Reparar

Se entiende por preparación del elemento a reparar como un conjunto de procedimientos a realizar, antes de la limpieza superficial y aplicación de los materiales y productos de reparación, en otras palabras son los tratamientos previos que se le dan a un elemento en la superficie a reparar.^[21]

En la siguiente tabla, la 4.1, se nos muestra los procedimientos de limpieza que podemos utilizar, y cuales son los adecuados dependiendo del estado de la superficie del concreto, si esta húmeda o no.^[21]

Tabla 4.1, procedimiento de preparación de la superficie a reparar en el concreto.

procedimiento	procedimiento más adecuado	
	estado de la superficie	
	seca	humeda
escarificación manual	adecuado	adecuado
disco de desbaste	aceptable	adecuado
escarificación mecánica	adecuado	adecuado
demolición	adecuado	adecuado
lijado manual	inadecuado	aceptable
lijado eléctrico	adecuado	aceptable
cepillado manual	adecuado	aceptable
pistola de aguja	inadecuado	inadecuado
chorro de agua, seca o húmeda	adecuado	adecuado
disco de corte	aceptable	adecuado
quema controlada	adecuado	inadecuado
remoción de aceites y grasas impregnadas	inadecuado	adecuado
máquina de desgaste superficial	aceptable	adecuado

4.2 Métodos para la preparación de la superficie

La preparación de la superficie consiste en remover el concreto que está dañado, uno de los métodos más utilizados por las facilidades que dan son los métodos con elementos punzo cortantes, éste al igual que otros son descritos mas adelante.

Cuando el concreto es removido utilizando herramientas de impacto, siempre existe la posibilidad de tener un daño superficial, a la superficie del concreto dejado. Es por eso que se debe de utilizar un método secundario para remover la superficie dañada del concreto, en estos casos se utiliza un método menos dañino para el concreto como el de chorro de arena húmeda o el método de chorro de agua.^[18]

Con el objetivo de escoger el mejor método para remover concreto dañado, se deberá de considerar la siguiente información:

1. Localización del trabajo: dentro del edificio?
2. Hay restricciones de ruido, vibración, polvo
3. Si la reparación se hará en una cubierta elevada, hay restricciones de peso en el equipo.
4. Que espesor de concreto se tendrá que remover
5. Cuales son las condiciones del concreto
6. Si existe acero de refuerzo cerca de la superficie
7. Que nueva clase de superficie se aplicará y cual será su espesor
8. Si se tendrá que remover algún recubrimiento, y si es así que tipo de recubrimiento es.

4.2.1 Preparación química

Los concretos contaminados con aceite, grasa o suciedades, requieren de limpieza antes de que se les aplique algún material de reparación. Para estas limpiezas existen diferentes productos como: detergentes y fosfato trisódico. Al aplicar estos químicos y una vez removidos las grasas y aceites, se deberá de lavar con agua para la remoción de los residuos.^[18]

4.2.2 Preparación mecánica

Existe una gran variedad de herramientas y aparatos para la remoción de concreto, estos se dividen en tres tipos: de impacto manual y electromecánico, de lijado manual y electromecánico, y de disco. Los métodos mencionados se describen a continuación.

4.2.2.1 Escarificación manual

Este tipo de preparación se hace para superficies pequeñas y locales de difícil acceso, y consiste en picar con un cincel y un mazo al elemento. Entre las ventajas que tiene este método es que no se necesitan instalaciones de agua o energía, ni mano de obra especializada, las desventajas que tiene es que tiene poca productividad y se necesita después del eskarificado una limpieza para remover el polvo.

4.2.2.2 Disco de desbaste

Este procedimiento se utiliza para la preparación de grandes superficies, se requiere de una pulidora industrial con disco, y el procedimiento consiste en aplicar el disco con lija sobre la superficie aprovechando el peso propio del equipo. Se van desbastando capas

pequeñas para mantener la uniformidad del espesor en toda la superficie. La desventaja es que se requiere de energía eléctrica y mano de obra especializada.

4.2.2.3 Escarificación mecánica

Este se utiliza para picar grandes superficies, y se requiere de un rebaje electromecánico o una máquina de desbaste (Figura 4.1), el procedimiento consiste en remover la nata superficial y procurar crear la rugosidad debida en el concreto para que el material de reparación obtenga mas agarre sobre la superficie. Se retira todo el material suelto por causa del escarificado, hasta llegar al concreto sano.



Figura 4.1, máquina de desbaste o demoledor.

Las ventajas que ofrece este procedimiento es que tiene un gran rendimiento en la preparación y no requiere mano de obra especializada, y las desventajas son que tiene un bajo rendimiento en espesores menores a 1 cm. Requiere cuidados para no comprometer la estructura y se requiere de limpieza después del escarificado para remover el polvo.^[21]

4.2.2.4 Demolición

Este procedimiento se utiliza para la preparación de grandes superficies y demoliciones. El equipo a utilizar consiste en un martillo neumático o electromecánico.

Este procedimiento consiste en retirar todo el material suelto hasta llegar al concreto sano, caso similar a la escarificación mecánica, siendo diferente solo en el equipó.

Las ventajas de este procedimiento son que permite el uso de varios martillos acoplados al mismo compresor, y tiene un gran rendimiento en la preparación, y las desventajas son de que se requieren de cuidados para no comprometer la estructura, lo que nos lleva a necesitar mano de obra especializada, este procedimiento no es adecuado para elementos estructurales esbeltos ya que el impacto podría dañarlos.

4.2.2.5 Lijado manual

Este se utiliza para preparaciones de pequeñas superficies, y para el lijado de barras de acero. El equipo a utilizar por este método es lija de agua para el concreto y lija de hierro para las barras de acero. Este procedimiento es sencillo solo consiste en lijar en movimientos circulares y enérgicos sobre la superficie, en el caso del acero se dejara de lijar hasta obtener el color metálico, las ventajas que ofrece este procedimiento son: que no requiere de equipos pesados y se puede utilizar en partes de difícil acceso para equipos, y las desventajas son un rendimiento bajo y requiere de inspección.

4.2.2.6 Lijado eléctrico

Este se utiliza en superficies de concreto planas y placas de acero, se requiere de un disco de lija acoplado a una lijadora electromecánica, y el procedimiento consiste en mantener la lijadora paralela a la superficie que se esta preparando. Las ventajas que ofrece este procedimiento son la remoción de impurezas existentes en la superficie del concreto, remueve la capa de óxido, permite la remoción de capas eflorescentes y regular la

superficie del concreto, y da un alto rendimiento en la preparación, y sus desventajas son que produce una gran cantidad de polvo, se requiere de energía eléctrica y de máscaras contra el polvo.

4.2.2.7 Cepillado manual

Este sirve para la preparación de superficies de pequeñas dimensiones en áreas de difícil acceso y para la remoción de productos incrustados en el acero así como la remoción de la corrosión. Solo se requiere de un cepillo de cerdas de acero como equipo. Las ventajas que ofrece este procedimiento son que tiene un fácil acceso y no requiere de mano de obra especializada ni instalaciones especiales, como energía eléctrica. Las desventajas son que tiene una baja productividad y tiene un uso limitado.

4.2.3 Preparación con chorro de arena, seca o húmeda

Los usos más comunes que se dan para este método de preparación son en grandes áreas y en ángulos donde la preparación con lija sería un proceso muy tardado. El equipo a utilizar consiste en un compresor de aire, equipo de chorro de arena (material abrasivo), manguera de alta presión, salida direccional y en algunas ocasiones agua. La arena a utilizar deberá de ser de una granulometría adecuada, no debe de contener materia orgánica y estar seca al momento de utilizarla.

El procedimiento para este método de preparación consiste en mantener la salida del chorro de arena en posición ortogonal, se debe de mover constantemente en círculos, distribuyendo uniformemente el chorro para una mejor remoción de todos los residuos que pudiesen perjudicar la adherencia.

Las ventajas de este equipo son, que prepara superficies que serán recuperadas o reforzadas, eliminando todas las partículas sueltas, permite la limpieza del acero, removiendo los productos de corrosión que se forman en su superficie. Las desventajas son de que provoca un alto grado de suciedad y polvo en el ambiente. No remueve fracciones con espesor mayor a 3 mm.^[21]

4.3 Limpieza

Esta ampliamente reconocido que la limpieza de la superficie del elemento a reparar es uno de los factores críticos en el desempeño de la reparación.

Una vez que la superficie ha sido preparada, o el concreto dañado ha sido removido se procede a la limpieza de la superficie. La reparación será tan buena como el esfuerzo que se haga en la limpieza de la superficie.

La limpieza de la superficie puede ser tan sencilla como: solo lavarla con detergente para quitar grasas y aceites o puede ser con equipos de limpieza que lancen chorros de agua, arena o vapor.

El objetivo de la limpieza, es de darle a la superficie, características especiales como: superficie seca o húmeda, una superficie pareja, y que este libre de suciedad, polvo, aceite y grasa, esto para que al momento de ponerlo en contacto con el material de reparación exista una buena adherencia.^[18]

A continuación se describen los métodos mas utilizados para la limpieza de superficies ya preparadas.

4.3.1 Chorro de agua fría

Este método se utiliza para la limpieza de grandes áreas con mangueras de alta presión y equipo de lavado a presión con salida direccional.

El procedimiento de limpieza consiste en lavar la superficie a presión, empezando en niveles mas altos para que la suciedad caiga por gravedad. Al momento de estar dando la limpieza con este método se debe de tratar de dar movimientos circulares para una mejor limpieza. Las ventajas que ofrece este método es que limpia la superficie al mismo tiempo que la humedece, y las desventajas son que no es buen método para cuando los materiales de reparación requieren una superficie seca.^[21]

4.3.2 Chorro de agua caliente

Este método es similar al anterior es para grandes áreas o levemente contaminadas con grasas. El equipo a utilizar es el mismo, igual que el procedimiento, en las ventajas varía en que por ser agua caliente puede eliminar impurezas orgánicas como grasas, aceites y pinturas, cuando se mezcla con removedores biodegradables. Y las desventajas son que no es buen método para cuando se requiere de una superficie seca, y se requiere de un operador calificado, así como equipo especial como guantes térmicos.^[18]

4.3.3 Chorro de aire comprimido

Este método es ampliamente utilizado ya que remueve polvo resultante de los procedimientos de preparación, también se utiliza cuando se requiere que la superficie este seca y limpia. El equipo que se utiliza en

una manguera a presión con un compresor dotado de filtro de aire y de aceite, para garantizar la descontaminación.

El procedimiento es de colocar en el interior de las cavidades o superficie a limpiar el extremo de la manguera, si existen cavidades en el área a limpiar, es mejor empezar por estas y una vez limpias taparlas con papeles para que no les vuelva a entrar polvo en el interior. Las ventajas que ofrece es la eliminación del polvo manteniendo la superficie seca y lista para aplicarle adhesivo estructural de base epoxica, y las desventajas son, de que no es adecuado en superficies húmedas, ya que el polvo mezclado con el agua no se limpia con el aire.

4.3.4 Aspiración al vacío

Este método se utiliza para la limpieza en seco de las superficies de concreto, y de esta manera queda listo para recibir adhesivos y puentes de adherencia que exigen que el elemento esté seco. El equipo que se utiliza es un aspirador de polvo industrial especialmente proyectado y equipado para aspirar el polvo del concreto.

El procedimiento consiste en el aspirado cuidadoso de las áreas que serán tratadas manteniendo la boca de la aspiradora a unos 2 mm de la superficie del concreto. Y las ventajas que ofrece son que retira partículas pequeñas sin producir más contaminación, y las desventajas de estos aparatos son que no pueden aspirar o retirar partículas grandes (piedras, papeles, y otros), ni tampoco partículas que están húmedas.^[21]

4.4 Selección de los materiales de reparación

La mayoría de los materiales de reparación que se encuentran en el mercado están hechos a base de cemento y resinas sintéticas. Así que la selección del material para reparar será a base de uno de estos dos, las ventajas que ofrecen los materiales a base de cemento es que son magníficos para la reparación de concretos reforzados, ya que este le da una mejor protección al acero de refuerzo contra la corrosión.

En el caso de los materiales de reparación a base de resinas, sus propiedades pueden ser ajustadas dentro de un margen muy amplio para cumplir con ciertos requerimientos de los trabajos de reparación a realizar. Esto es muy valioso, pues cuando se tiene limitado el tiempo de trabajo y se requiere de una reparación de curado rápido se pueden utilizar estos materiales.

Habrán casos en que el elemento a reparar no se podrá aumentar de volumen y el espesor que cubre al acero de refuerzo es muy pequeño, en este caso se puede utilizar mortero a base de resinas el cual necesita menos espesor para tener propiedades de resistencia y que es menos permeable que el mortero a base de cemento, y da una buena protección al acero de refuerzo.^[19]

En resumen se deberá de estudiar la situación que se tiene y plantear varias alternativas de reparación, para así dependiendo de las necesidades de la construcción a reparar, tomar una decisión y escoger el material adecuado, siempre teniendo en cuenta los factores económicos y de tiempo.

Capítulo 5

Experimentación, Simulación y Discusión de Problemas Frecuentes.

En el capítulo 3 se enumeraron los problemas más frecuentes que se encuentran en las edificaciones y los materiales disponibles para su reparación, en este capítulo se describirá la forma en que se pueden simular algunos de estos problemas, así como la forma práctica en que se les puede reparar, los casos se revisan a nivel de laboratorio.

5.1 Grietas en muros de concreto

Como ya se explicó en el capítulo 3 las grietas constituyen uno de los problemas más frecuentes a reparar, para simular este tipo de problemas se crearon pequeños muretes de dimensiones de 8 x 25 x 15 cm, a estos pequeños muretes se les formaron canales en el centro afectando la parte inferior y a los lados, de los especímenes, como se puede ver en la Figura 5.1.

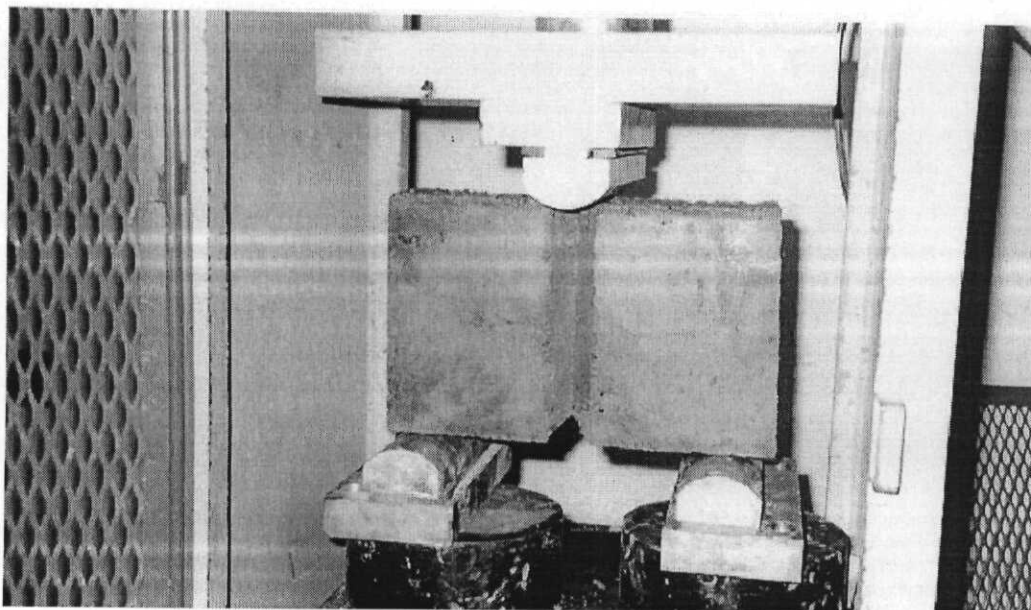


Figura 5.1, provisión de la falla a los muretes.

5.1.1 Propiedades de los elementos antes de la reparación.

Cabe mencionar que el concreto a utilizar se diseño para que resistiera 100 Kg/cm², las cantidades se obtuvieron de la Tabla 1.1, dosificación del concreto.

A estos muretes se les determinará la resistencia a la flexión que tienen antes y después de ser reparados, así como también se utilizara el martillo de rebote y la velocidad ultrasónica de pulso para registrar sus condiciones antes y después de las pruebas. A continuación se muestran fotos y tablas de resultado de estas pruebas.

5.1.1.1 Resistencia a la flexión

En la Tabla 5.1, se muestra el número de espécimen, los especímenes que tenían canales a los lados y los que no, y la resistencia a la flexión que soportaron.

Tabla 5.1, resistencia a la flexión de los muretes de concreto.

Especímenes a fracturar (con canales)	Fuerza P en Kg
1	920
2	1,120
3	1,080
4	1,210
5	960
6	1,060
7	980
8	1,120
Especímenes sin fracturar (sin canales)	
9	2,075
10	2,195

5.1.1.2 Martillo de rebote

Este método se utilizó con la intención de saber que tan uniforme era este concreto, y tener una idea de la resistencia aproximada a la compresión (no se aconseja para remplazar a un corazón del concreto extraído del material).

El equipo a utilizar es un esclerómetro o martillo de rebote y una piedra abrasiva, esta piedra se utilizará para pulir el área a probar con la intención de eliminar porosidades que pudiesen dar una resistencia poco confiable. En la Figura 5.2 se muestra el equipo que se utilizó.

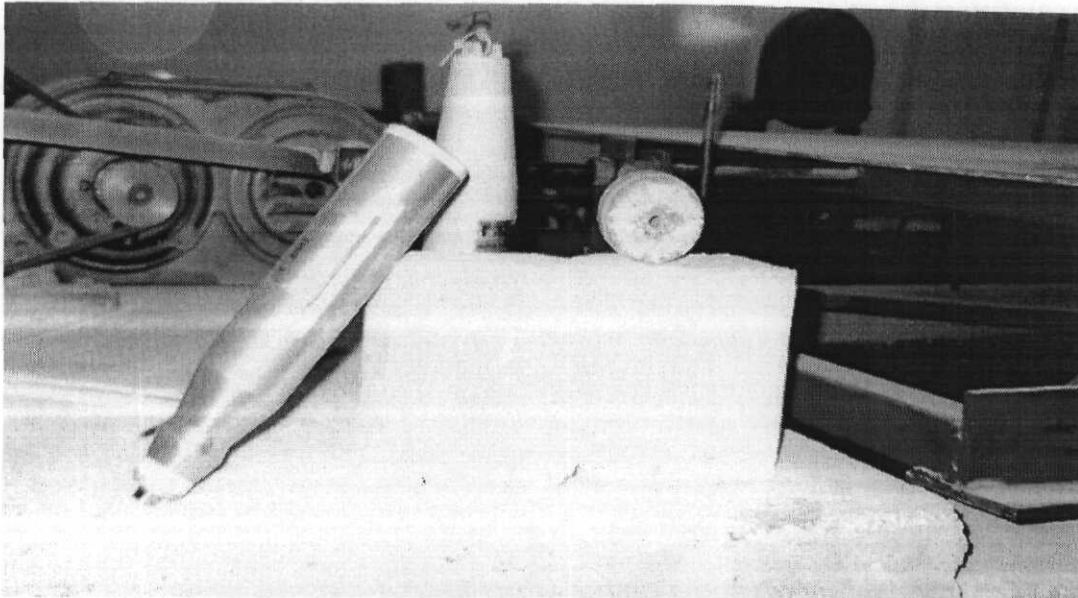


Figura 5.2, esclerómetro y piedra abrasiva.

Las lecturas que se obtengan serán todas en la misma dirección de impacto del esclerómetro, a 90° hacia abajo. Se tomarán como mínimo diez lecturas para cada superficie de prueba y la separación mínima entre dos impactos será de 25 mm.^[22]

Las lecturas obtenidas de los rebotes se podrán interpretar por medio de una grafica que trae el martillo de rebote, obteniendo de esta gráfica la resistencia a la compresión aproximado que podría tener el concreto.

La prueba se realizó de la siguiente forma, con la piedra abrasiva se limo en la superficie del concreto donde se darían los golpes del martillo de rebote, después se aplico la prueba en nueve diferentes puntos del concreto, se sacó un promedio de las lecturas, con estas lecturas se entro a la grafica del martillo de rebote y se obtuvo la resistencia a la compresión aproximada del concreto, los resultados se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2, Martillo de Rebote, en muretes

Especimen	Lado izquierdo (lectura)	resistencia en kg/cm ²	Lado Derecho (lectura)	resistencia en kg/cm ²
1	12	85	11	85
2	13	90	11	90
3	14	95	15	95
4	13	90	11	90
5	13	90	12	90
6	10	75	12	75
7	13	90	13	90
8	12	85	16	85
9	15	100	14	100
10	16	110	15	110

5.1.1.3 Velocidad ultrasónica de pulso.

Este método de prueba sirve para determinar la velocidad de propagación de las ondas a través del concreto. Y prueba nos sirve para tener una idea de la continuidad que tiene el concreto de acuerdo a su calidad en el cuerpo del elemento. También nos da un indicio de las grietas que podría tener el concreto, la profundidad de las mismas y para evaluar la efectividad de la reparación de las grietas.^[17]

El procedimiento para hacer estas mediciones fue el siguiente^[17]:

1. Se le aplicó gel en las caras de apoyo de los sensores (transmisor y receptor).
2. Se verificó que el equipo funcionara apropiadamente y se ajusto a cero (calibración) poniendo el sensor emisor directamente con el sensor receptor y verificando que la lectura fuera cero.
3. Se aplicó gel a las partes del concreto donde se colocaría los sensores, esto para evitar que quedara aire atrapado entre el sensor y la cara del concreto.
4. Se pusieron los dos sensores a cada lado del concreto de tal manera que alineados en las caras opuestas del concreto, unidos por la distancia mas corta.
5. Se tomo la lectura que indicaba el aparato.

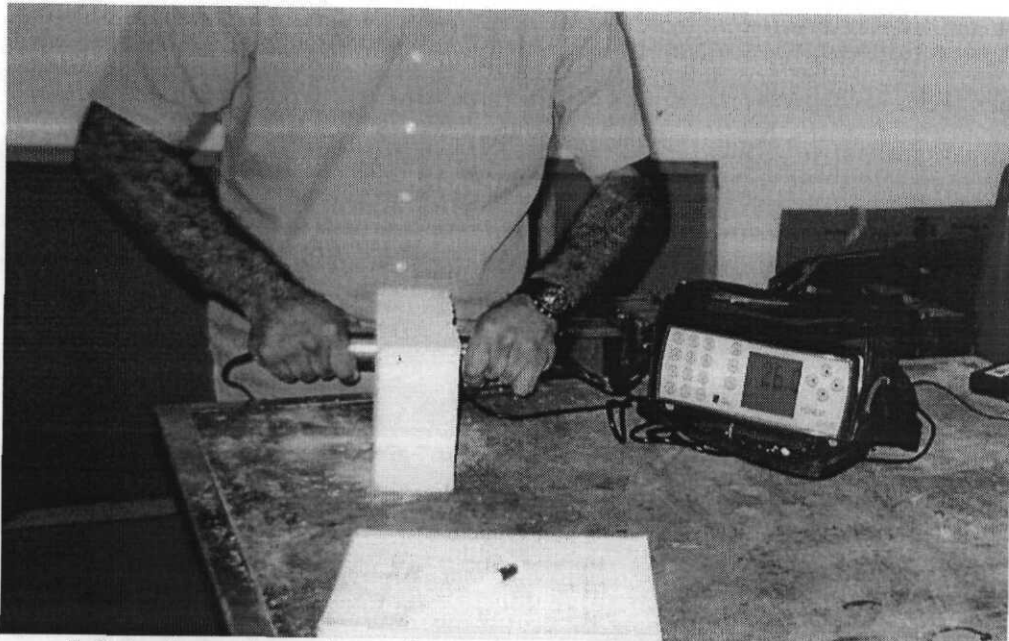


Figura 5.3, lecturas tomadas a lo ancho del lado izquierdo y lado derecho.

Esta prueba se realizó en la parte frontal del elemento y a lo ancho de él, como se muestra en la Figura 5.3 y 5.4, y los valores obtenidos son los mostrados en la Tabla 5.3, estos valores están dados en microsegundos (en μ secs, 10^{-6} segundos) y en la tabla 5.3b se muestran las velocidades

obtenidas de la formula $V=D/T$ (que significa velocidad igual a distancia recorrida por el pulso entre el tiempo que tarda la señal en viajar).

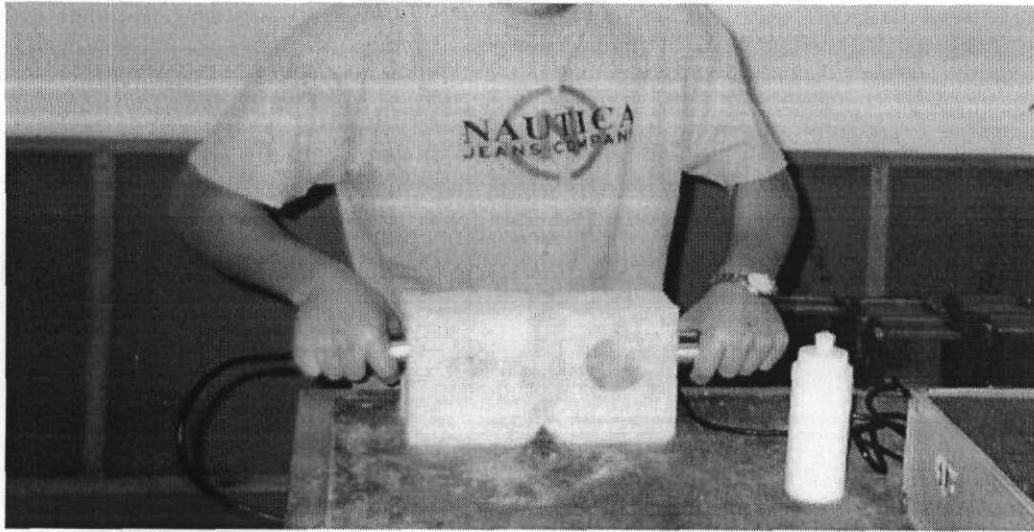


Figura 5.4, lecturas tomadas a lo largo del murete.

Tabla 5.3, prueba de velocidad ultrasonica de pulso, muretes de concreto

Especimen	Lectura Izq en μ secs	Lectura a lo largo en μ s	Lectura der en μ secs
1	26.9	96.8	25.5
2	22.5	79.6	23.8
3	26.4	97.5	26.1
4	26.7	88.4	24.3
5	25.3	94.3	31.2
6	25.2	93.7	27.8
7	23.7	101.3	24.8
8	25.1	96.4	24.4
9 *	23.5	72.8	22.1
10 *	28.2	64.1	25.4

Tabla 5.3b, prueba de vel. Ult. de pulso (vel. en metros por segundo), muretes de concreto

Especimen	Lado Izquierdo (lectura)	Largo (lectura)	Lado Derecho (lectura)
1	9,294 m/seg.	2,583 m/seg.	9,804 m/seg.
2	11,111 m/seg.	3,141 m/seg.	10,504 m/seg.
3	9,470 m/seg.	2,564 m/seg.	9,579 m/seg.
4	9,363 m/seg.	2,828 m/seg.	10,288 m/seg.
5	9,881 m/seg.	2,651 m/seg.	8,013 m/seg.
6	9,921 m/seg.	2,668 m/seg.	8,993 m/seg.
7	10,549 m/seg.	2,468 m/seg.	10,081 m/seg.
8	9,960 m/seg.	2,593 m/seg.	10,246 m/seg.
9 *	10,638 m/seg.	3,434 m/seg.	11,312 m/seg.
10 *	8,865 m/seg.	3,900 m/seg.	9,843 m/seg.

* testigos sanos

5.1.1.4 Ancho de las grietas

Las grietas que se indujeron en los muretes mediante la carga fueron dos, una fina (menor a 1mm) y una ancha (mayor a 2mm), la grieta fina era menor a un milímetro y la ancha era de 15 milímetros.

5.1.2 Preparación del elemento a reparar

Se limpió la parte donde se aplicaría el adhesivo epóxico, evitando tener polvo, que estuviera libre de agua y evitando tener partículas de concreto sueltas.

Una vez que los muretes de concreto están limpios y libres de grasas, se procede a la reparación, esta reparación tiene como propósito el darle al murete la misma o mas resistencia a la flexión que el murete podría tener si nunca hubiese sido dañado.

5.1.3 Reparación del elemento

Como ya se explicó en el capítulo 4, para la reparación de grietas los productos que hay en el mercado son a base de epoxicos, estos pueden ser de gel o de baja viscosidad, en el caso de los muretes primero se procederá a reparar las grietas anchas con el epoxico de gel, para la reparación de este tipo de grietas se procedió de la siguiente forma, se mezclaron las dos soluciones de cada producto, los productos requerían de un tiempo de mezcla de aproximadamente 2 minutos, ya teniendo la mezcla lista se procedió a embarrársela con una espátula en la parte superior, la parte inferior y a un lado del elemento a reparar, los materiales de reparación requerían de cierto tiempo para secarse y poder aplicar el epoxico de alta fluidez.

Se dejaría una cara sin epoxico de gel para poderle aplicar el epoxico de alta fluidez, como se muestra en la Figura 5.5.

Una vez que los epoxicos de gel habían secado un poco (secan totalmente a los 7 días), se procedió a la aplicación por gravedad del epoxico de alta fluidez (como se muestra en la figura 5.5), el producto se siguió inyectando hasta tener un pequeño charquito de epoxico, lo cual indicaba que había dejado de penetrar en la grieta, esto nos indicaba que la grieta fina estaba totalmente saturada por el epoxico. Y por ultimo se sello la grieta donde se le inyectó el epoxico de alta fluidez.



Figura 5.5, inyección de uno de los productos al murete de concreto.

Cabe mencionar que las reparaciones que se hicieron con las dos diferentes marcas de productos se hicieron en un lapso de dos horas, y con los pasos y recomendaciones que indicaban los fabricantes, por lo tanto los tiempos de curados y reparación para los diferentes testigos fueron considerados como iguales. Las reparaciones se hicieron con Sikadur – 52 como epoxico de baja viscosidad y Sikadur - 31 adhesivo de gel por parte

de Sika y Epofil como epoxico de baja viscosidad y Sonocrete Rapid Gel como adhesivo epoxico de gel por parte de Sonneborn. Para cada marca se repararon cuatro muretes.

5.1.4 Propiedades después de la reparación

Según las especificaciones de los fabricantes, los productos alcanzarían propiedades de resistencia a los 10 días de haber aplicado. En la Tabla 5.4 se muestran la marca y producto que fueron utilizados en cada espécimen.

Tabla 5.4, Marcas utilizadas y productos

Especimen	Marca del producto	producto de inyeccion	producto de sellado
1	Sonneborn	Epofil	Sonocrete Rapid Gel
2	Sonneborn	Epofil	Sonocrete Rapid Gel
3	Sonneborn	Epofil	Sonocrete Rapid Gel
4	Sonneborn	Epofil	Sonocrete Rapid Gel
5	Sika	Sikadur - 52 Inyeccion	Sikadur - 31 Adhesivo
6	Sika	Sikadur - 52 Inyeccion	Sikadur - 31 Adhesivo
7	Sika	Sikadur - 52 Inyeccion	Sikadur - 31 Adhesivo
8	Sika	Sikadur - 52 Inyeccion	Sikadur - 31 Adhesivo

5.1.4.1 Velocidad ultrasónica de pulso

En la Tabla 5.5a y 5.5b se muestran las lecturas tomadas de esta prueba a los muretes reparados (estos valores están dados en microsegundos, μ secs, 10^{-6} segundos) y la velocidad obtenida de estas mediciones, las velocidades se obtuvieron de la misma forma que en el punto 5.1.1.3, estas mediciones se obtuvieron una vez que las reparaciones en los muros tenían 10 días de curadas. Y en la Figura 5.6 se muestra uno de los muretes reparados y el velocímetro ultrasónico de pulso. Las lecturas que se hicieron a lo largo del murete son como se muestran en la Figura 5.4, y las lecturas que se tomaron a los lados son como se miran en la

figura 5.3, del lado izquierdo y lado derecho de la grieta provocada que se muestra en la figura 5.1.

Tabla 5.5a, prueba de velocidad ultrasonica de pulso, muretes de concreto

Especimen	Lectura Izq en μ secs	Lectura a lo largo en μ secs	Lectura der en μ secs
1sonneborn	26.9	65.2	25.5
2sonneborn	22.5	68.4	23.8
3sonneborn	26.4	64.5	26.1
4sonneborn	26.7	73.2	24.3
5 Sika	25.3	57.3	31.2
6 Sika	25.2	55.6	27.8
7 Sika	23.7	60.4	24.8
8 Sika	25.1	52.4	24.4
9	23.5	72.8	22.1
10	28.2	65.1	25.4

Tabla 5.5b, prueba de velocidad ultrasonica de pulso (velocidad de pulso), muretes de concreto.

Especimen	Lado Izquierdo (vel.)	Largo (lectura)	Lado Derecho (vel.)
1sonneborn	9,294 m/seg.	3,834 m/seg.	9,804 m/seg.
2sonneborn	11,111 m/seg.	3,655 m/seg.	10,504 m/seg.
3sonneborn	9,470 m/seg.	3,876 m/seg.	9,579 m/seg.
4sonneborn	9,363 m/seg.	3,415 m/seg.	10,288 m/seg.
5 Sika	9,881 m/seg.	4,363 m/seg.	8,013 m/seg.
6 Sika	9,921 m/seg.	4,496 m/seg.	8,993 m/seg.
7 Sika	10,549 m/seg.	4,139 m/seg.	10,081 m/seg.
8 Sika	9,960 m/seg.	4,771 m/seg.	10,246 m/seg.
9	10,638 m/seg.	3,434 m/seg.	11,312 m/seg.
10	8,865 m/seg.	3,840 m/seg.	9,843 m/seg.

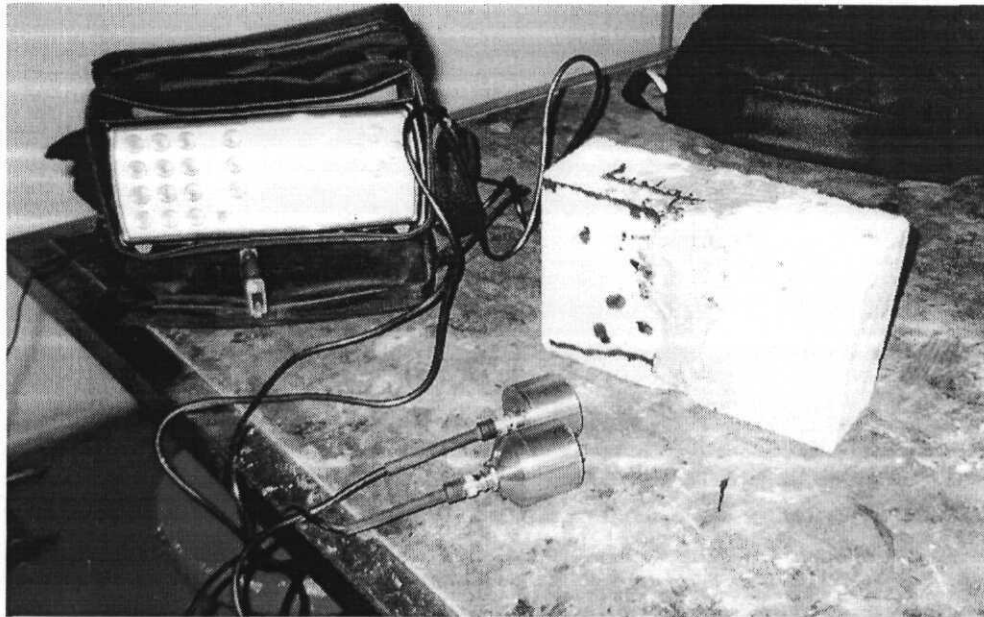


Figura 5.6, Prueba de velocímetro ultrasónico de pulso a un murete reparado.

5.1.4.2 Esfuerzo a la flexión

En la Tabla 5.6 encontramos los valores de la fuerza axial P que resistieron los muros a los diez días de haber sido reparados y que fue lo que fallo en el elemento, la falla pudo haber sido en la reparación debido a que los productos no resistieron más carga, o en el concreto lo cual nos indica que los productos eran más resistentes que este tipo de concreto, la Figura 5.7 nos muestra como se llevo acabo esta prueba.

Tabla 5.6, Resistencia a la flexión.

Especimenes a fracturar	Fuerza P en Kg	Vida de la Reparacion	Fallo
1	2,340	10 días	reparacion
2	2,640	10 días	reparacion
3	2,175	10 días	reparacion
4	2,450	10 días	reparacion
5	2,985	10 días	concreto
6	3,570	10 días	concreto
7	3,130	10 días	concreto
8	3,260	10 días	concreto

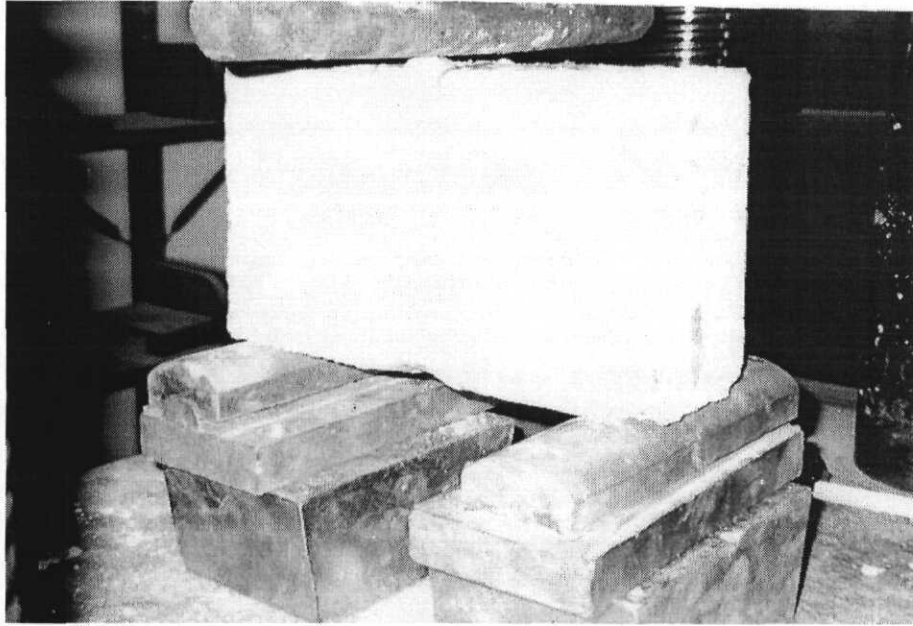


Figura 5.7, prueba a flexión de muretes reparados

5.2 Juntas frías en el concreto

Las juntas frías son también un problema frecuente a resolver en las construcciones urbanas, es por eso que aquí se muestran los resultados obtenidos con algunos de los productos que hay en el mercado, los cuales pretenden dar una solución al problema.

5.2.1 Modelo a simular para las juntas frías

El modelo a simular será un cilindro de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto, se colaron 11 cilindros de 10 x 20 cm y uno de 15 x 30 cm para el módulo de elasticidad, a estos cilindros se les cortó con una sierra formando un ángulo de 45° en el centro, como se muestra en la Figura 5.8, y 5.9. de estas dos partes del cilindro cortado solo se utilizó la de la parte inferior, la forma en que describe de una mejor forma el procedimiento de reparación está dado en el punto 5.2.4.

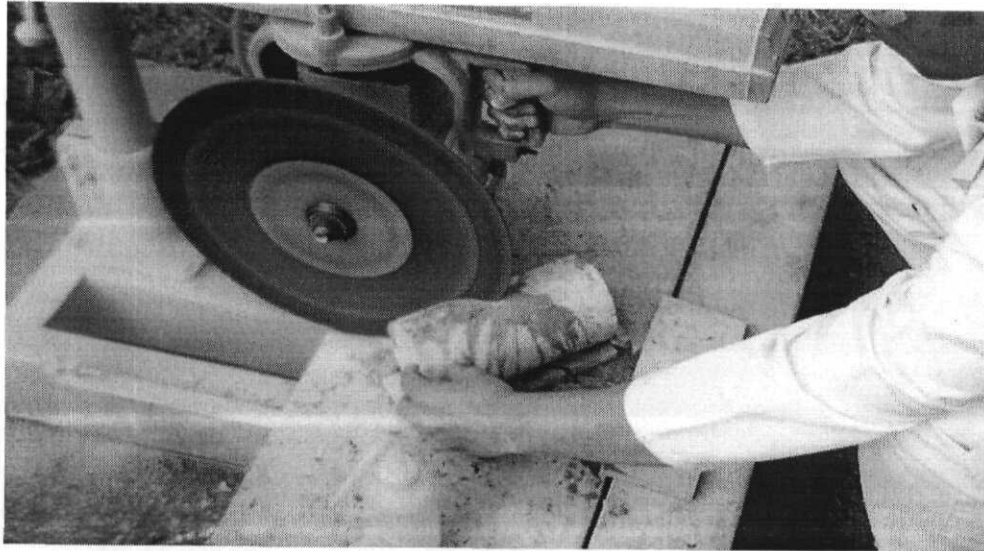


Figura 5.8, corte de los cilindros a pegar.

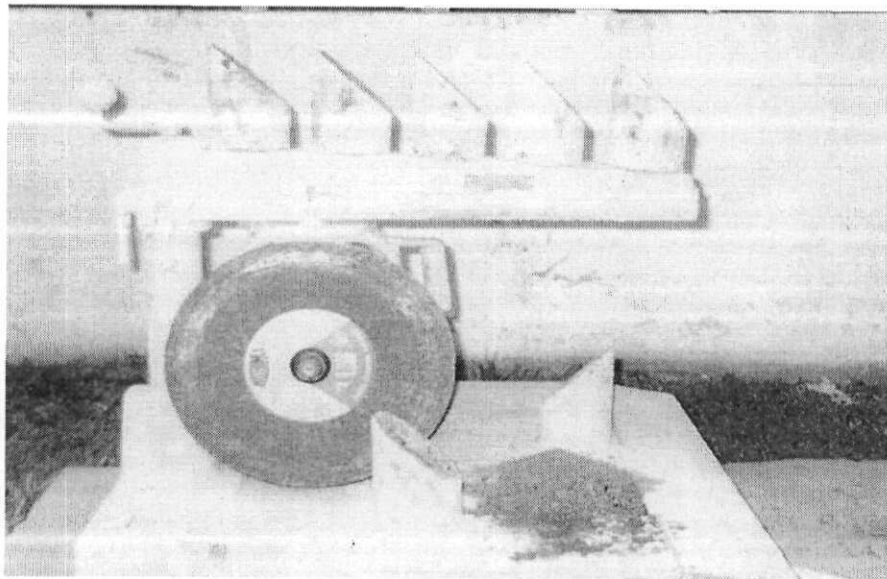


Figura 5.9, Cilindros cortados.

5.2.2 Propiedades de los elementos antes de ser reparados

Para tener una base de comparación de la calidad de la reparación, fue necesario obtener propiedades antes de la reparación, las propiedades de los cilindros que se obtuvieron para la comparación se muestran en los siguientes puntos. El diseño de la mezcla se considero para una resistencia de 200 kg/cm^2 .

5.2.2.1 Lecturas con el martillo de rebote

La metodología a utilizar en la medición de la propiedad de los cilindros de concreto con este aparato, es la misma que se explicó en el punto 5.1.1.2. Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7, Martillo de Rebote, cilindros de concreto.

Especimen	Punto 1 (lectura)	resistencia en kg/cm2	Punto 2 (lectura)	resistencia en kg/cm2
1	23	85	22	85
2	20	90	17	90
3	18	95	20	95
4	24	90	19	90
5	17	90	21	90
6	19	75	24	75
7	18	90	19	90
8	21	85	23	85
9	20	100	19	100
10	21	150	21	150
11	19	135	18	125
12	17	115	19	135

5.2.2.2 Velocidad ultrasónica de pulso

Las mediciones que se le hicieron a estos elementos fue a lo largo de ellos, como se muestra en la figura 5.10 y los valores obtenidos son los mostrados en la tabla 5.8 junto con las velocidades de pulso estimadas.

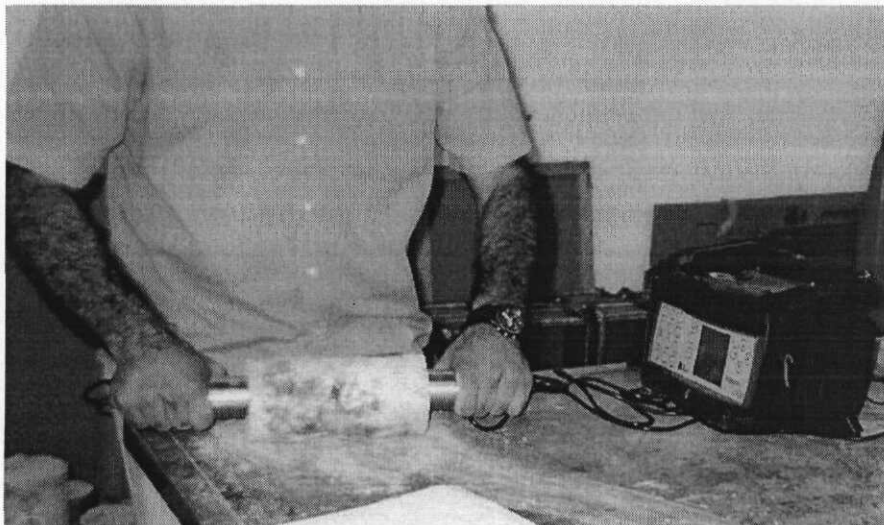


Figura 5.10, prueba ultrasónica de pulso a lo largo del cilindro.

Tabla 5.8, prueba de velocidad ultrasónica de pulso, cilindros de concreto antes del corte

Especime	Lectura Transversal en μ	velocida
1	52.5	4,762
2	54.2	4,613
3	57.8	4,325
4	49.9	5,010
5	51.7	4,836
6	56.8	4,401
7	52.6	4,753
8	53.8	4,647
9	53.2	4,699
10	52.9	4,726
11	54.6	4,579
12	75.3	3,320

5.2.2.3 Esfuerzo a la compresión

Los especímenes 10, 11 y 12, no fueron reparados, se dejaron intactos para poder obtener de ellos el esfuerzo a la compresión y módulo de elasticidad. En la Tabla 5.9 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión que soportaron los especímenes.

Tabla 5.9, Resistencia a la compresión, cilindros de concreto no reparados

Especímenes	diámetro	Fuerza P en Kg	Esfuerzo a la Compresión en kg/cm ²
10	10	14,275	181.70
11	10	15,350	195.38
12	15	22,475	127.14

5.2.2.4 Módulo de elasticidad estático

Con el método de prueba de la norma NOM-C-128-1992 "Módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto a compresión" podemos obtener el módulo de elasticidad secante, el cual es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial, al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento

elástico. En la Figura 5.11 se muestra el aparato para medir las deformaciones que sufre el cilindro de concreto.

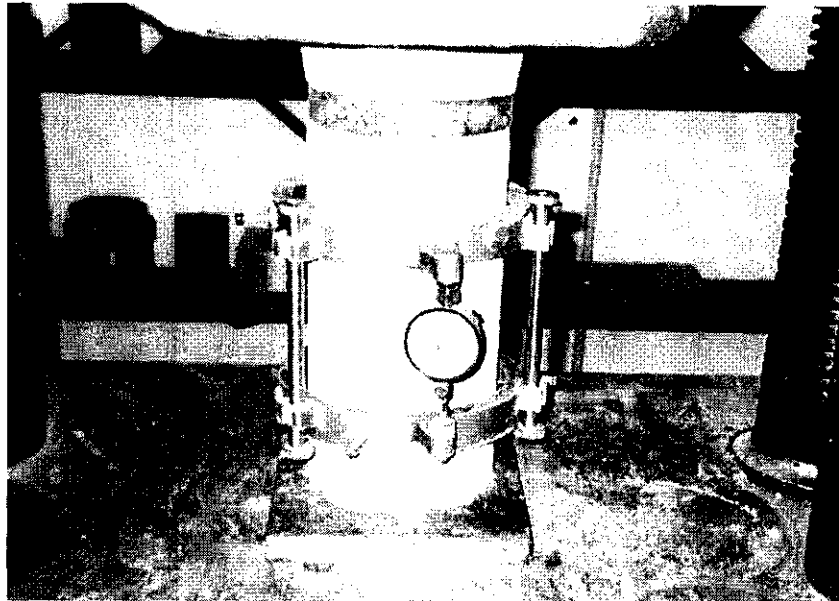


Figura 5.11, Dispositivo de medición de deformaciones para un cilindro de concreto.

El módulo de elasticidad se obtuvo de la fórmula 5.1^[24].

$$E = (S_2 - S_1) / (\varepsilon_2 - 0.00005) \quad (5.1)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad

S_2 = esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

S_1 = esfuerzo correspondiente a la deformación .00005

ε_2 = deformación producida por el esfuerzo S_2

$$E = 170,273 \text{ Kg/cm}^2$$

Este módulo de elasticidad fue calculado con el espécimen número 12, el cual era de 15 cm de diámetro con 30 cm de largo, y era un cilindro no cortado y sin reparación, esta prueba solo se aplicó para los cilindros de concreto.

5.2.3 Preparación del elemento a reparar

La superficie debe de estar sana y limpia, libre de partes sueltas de concreto, contaminación de aceites, polvo, residuos de sustancias para curar y lechada de cemento.

5.2.4 Reparación del elemento

Como ya se explico en el punto 5.2.1 las mitades inferiores de los cilindros cortados fueron las que se utilizaron, estas se introdujeron al molde donde se habían colado inicialmente, se le aplicó el adhesivo en la superficie a 45°, se preparó una mezcla de concreto con resistencia de 300 kg/cm², para así estar seguros de que no fuera a fallar la parte nueva del concreto al someterlos a compresión, se rellenó el molde con la mezcla de concreto y se dejó curar 10 días. En la Figura 5.12 se muestra la mitad de los cilindros introducidos en los moldes y la aplicación del adhesivo.

Los productos utilizados para esta reparación fueron epóxicos de gel llamados también puentes de adherencia, ya que no se mezcla al concreto nuevo, si no que antes de vaciar la mezcla se aplica en el concreto viejo quedando una pequeña capa de producto como puente de adherencia entre los dos concretos, para esta prueba se utilizaron tres productos de diferentes marcas, se utilizó el rezi weld 1000 de WR MEADOWS, Sikadur 32 Primer de Sika y Epogrip de la marca Sonneborn. Para cada uno de los productos se tuvieron tres mitades de cilindro a 45° para pegarlas a concreto nuevo. Esta prueba se hizo al mismo tiempo con diferencia de 30 minutos y se tronaron los cilindros a los diez días de haber sido curado el nuevo concreto.

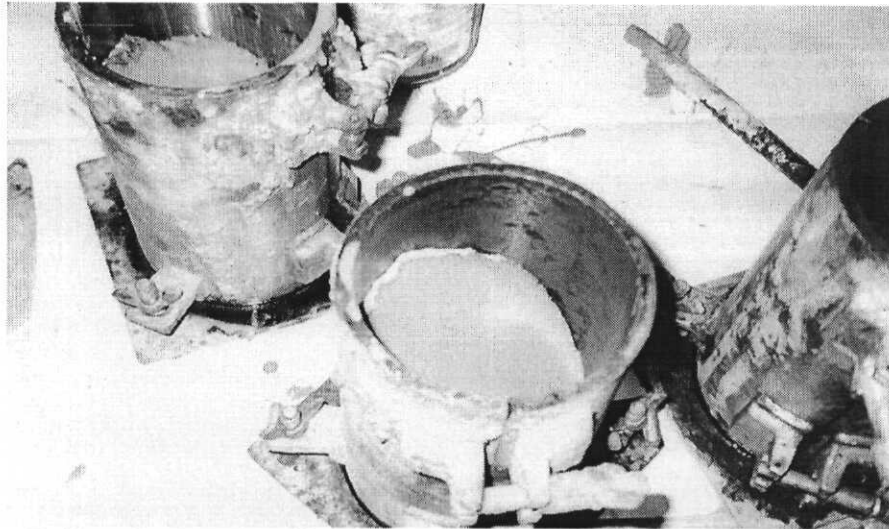


Figura 5.12, mitades de cilindros a pegar introducidos a los moldes con el adhesivo aplicado.

5.2.5 Propiedades de los cilindros después de haber sido reparados (corte a 45°).

A los cilindros reparados se le aplicaron pruebas no destructivas y destructivas con el propósito de comprar los resultados y relacionarlos, esto con el fin de evaluar la calidad de la reparación. Las pruebas que se les hizo a los cilindros reparados son las siguientes.

5.2.5.1 Velocidad ultrasónica de pulso

Se le tomaron lecturas al cilindro a lo largo, las lecturas se muestran en la Tabla 5.10, en esta tabla también muestra la marca del producto que se utilizó y las velocidades a las cuales viaja el pulso a través de los cilindros de concreto reparados, estas velocidades se calcularon de igual forma que en el punto 5.1.1.3.

Tabla 5.10, prueba de velocidad ultrasónica de pulso, cilindros de concreto reparados (corte a 45°)

Especime	marca del	Lectura Transversal en μ	velocida
1	Sika	48.7	5,133
2	Sika	52.6	4,753
3	WR	49.3	5,071
4	Sonnebor	54.9	4,554
5	Sika	50.4	4,960
6	Sonnebor	57.4	4,355
7	WR	53.4	4,682
8	WR	51.8	4,826
9	Sonnebor	58.9	4,244

5.2.5.2 Esfuerzo a la compresión de los cilindros reparados (corte a 45°)

En la Tabla 5.11, se muestra el esfuerzo a la compresión que resistieron los cilindros así como el tipo de falla que tuvieron, los tipos de fallas que se presentaron fueron dos las de concreto las cuales significa que el puente de adherencia entre el concreto nuevo con el viejo no falló, si no que falló el concreto, y la de falla de la reparación, la cual nos indica que el producto que se utilizó no resistió lo suficiente y se presentó la falla en la junta fría (puente de adherencia). En la Figura 5.13 se muestra como se realizó esta prueba.

Tabla 5.11, Carga soportada, cilindros de concreto reparados (corte a 45°)

Especimen	marca del producto	carga	fallo
1	Sika	17,550 Kg	concreto
2	Sika	16,540 Kg	concreto
3	WR meadows	18,050 Kg	concreto
4	Sonneborn	8,340 Kg	reparacion
5	Sika	18,450 Kg	concreto
6	Sonneborn	8,450 Kg	reparacion
7	WR meadows	17,350 Kg	concreto
8	WR meadows	17,550 Kg	concreto
9	Sonneborn	6,550 Kg	reparacion

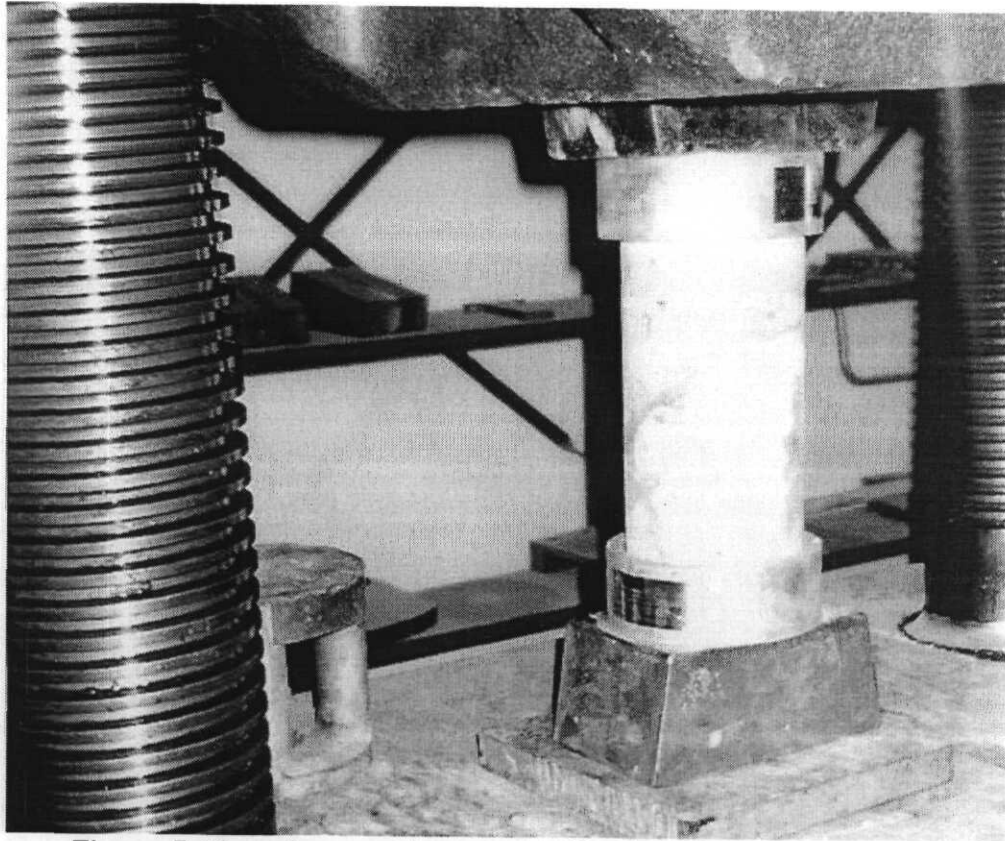


Figura 5.13, esfuerzo a la compresión del cilindro reparado

5.3 Impermeabilización de muros de concreto

Como se describió en el capítulo 3, la infiltración de humedad con sales es un problema que se tiene en los muros externos de sótanos, es por eso que se experimentó con materiales encontrados para tener una idea de cómo se puede contrarrestar este problema.

5.3.1 Elemento a impermeabilizar

Los elementos a impermeabilizar serán cubos de mortero, ya que los muros externos de paredes de sótanos están revestidos de este material. Los cubos serán de 5 x 5 x 5 cm.

La forma de realizar esta prueba fue la siguiente:

1. Se colaron 12 cubos de mortero
2. A los 7 días de colados, se metieron a un horno por 24 horas para determinar sus pesos secos.
3. Al tener los pesos secos se sumergieron en agua por 72 horas, se secan y se determina el peso saturado de los cubos.
4. Con los pesos secos y saturados se obtuvo los porcentajes de absorción de los cubos.
5. Se volvieron a meter a un horno por 24 horas para que los cubos quedaran secos.
6. A ocho cubos se les aplico producto de impermeabilización de muros, se aplicaron dos diferentes marcas, a cuatro de una y al resto de otra.
7. Se le aplicaron dos capas con brocha, y se dejaron secar por 48 horas.
8. Se sumergieron en el agua por 72 horas los ocho cubos impermeabilizados y dos sin impermeabilizar.
9. Se obtuvo el peso saturado de los cubos sumergidos, y se obtuvo el porcentaje de absorción que tenían, se probaron a la compresión todos los cubos, los ocho reparados, los dos sin reparar saturados y los dos sin reparar secos.

5.3.2 Propiedades de los cubos antes de ser impermeabilizados

Para verificar la calidad de la reparación, se tomaron las propiedades de los cubos de mortero antes y después de haber sido reparados. En este caso se pretende verificar la impermeabilidad lograda con los dos diferentes productos aplicados a las superficies del mortero (cubos de morteros).

5.3.2.1 Porcentaje de absorción

Para obtener la absorción de los cubos de mortero se determino la masa después de haber secado los cubos en un horno por 24 horas, después se sumergieron los cilindros en agua por 72 horas y se obtuvieron sus masas, y sus respectivos porcentajes de absorción, estos resultados se muestran en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12, Porcentaje de adsorción de los cubos antes de aplicarles el producto de impermeabilización

número de	peso seco	peso sumergido	% de
1	285.	298.	4.32
2	289.	303.	4.49
3	285.	301.	5.08
4	285.	299.	4.54
5	285.	300.	4.83
6	290.	303.	4.12
7	287.	302.	4.70
8	288.	301.	4.31
9	291.	304.	4.37
10	288.	301.	4.22
11	287.	302.	4.99
12	286.	301.	4.78

5.3.3 Preparación de los cubos a reparar

La preparación de la superficie a reparar es muy importante para tener una buena adherencia entre el producto y la superficie. Es por eso que antes de aplicarle el producto de impermeabilización a los cubos se verificó que la superficie de estos fuera firme, y libre de polvo, suciedad, pintura, aceite o de cualquier otro contaminante.

5.3.4 Impermeabilización del cubo de mortero

Para la impermeabilización de los cubos de mortero se utilizaron dos productos diferentes uno de la marca Sika y otro de la marca Sonneborn, el nombre del producto de Sika es Sika - 101 el cual se mezcla en proporción de 3 partes de producto por una de agua, y el producto de Sonneborn es el superthoroseal el cual se mezcla en proporción de un saco de 50 libras con 6 litros de agua. Al tener las mezclas de los dos diferentes productos preparadas se procedió a aplicárselas (cada producto a cuatro cubos) a los cubos de mortero con una brocha, se le aplicaron dos capas del producto, en la Tabla 5.13 se muestran la marca y producto que se le aplicó a los cubos de mortero.

Tabla 5.13, Marcas y productos utilizados en la impermeabilización de los cubos

numero de cubo	Marca	Producto
1	Sika	Sika - 101
2	Sika	Sika - 101
3	Sika	Sika - 101
4	Sika	Sika - 101
5	Sonneborn	Thoroseal
6	Sonneborn	Thoroseal
7	Sonneborn	Thoroseal
8	Sonneborn	Thoroseal

5.3.5 Esfuerzo a la compresión

En la Tabla 5.14 se muestran los esfuerzos a la compresión de los cubos en estado seco y húmedos. En la Figura 5.14 se muestra como se llevó acabo esta prueba.

Figura 5.14, esfuerzo a la compresión de los cubos secos y húmedos

número de cubo	Estado	Esfuerzo en kg/cm ²
9	seco	5,700
10	seco	5,650
11	saturado	4,850
12	saturado	5,100

5.3.6 Porcentaje de absorción de los cubos impermeabilizados.

En la Tabla 5.15 se muestran los pesos de los cubos impermeabilizados, secos y después de haber estado sumergido en el agua (se sumergieron en un bote de latón cilíndrico de diámetro de 20 cm y con 20 cm de tirante de agua) por 72 horas. También aparece el esfuerzo a la compresión que resistieron.

Tabla 5.15, % de absorción y esfuerzo a la compresión de los cubos de mortero con el producto aplicado

número de cubo	peso seco	peso saturado	% de absorción	Esf. a la Comp. en kg/cm ²
1	298.5 gr	311.2 gr	4.08%	3,750
2	297.9 gr	313.1 gr	4.85%	3,400
3	300.1 gr	310.4 gr	3.32%	3,950
4	300.4 gr	312.4 gr	3.84%	3,375
5	320.4 gr	335.8 gr	4.59%	3,450
6	321.6 gr	335.8 gr	4.23%	3,550
7	318.8 gr	333.5 gr	4.41%	3,600
8	320.9 gr	334.7 gr	4.12%	3,720

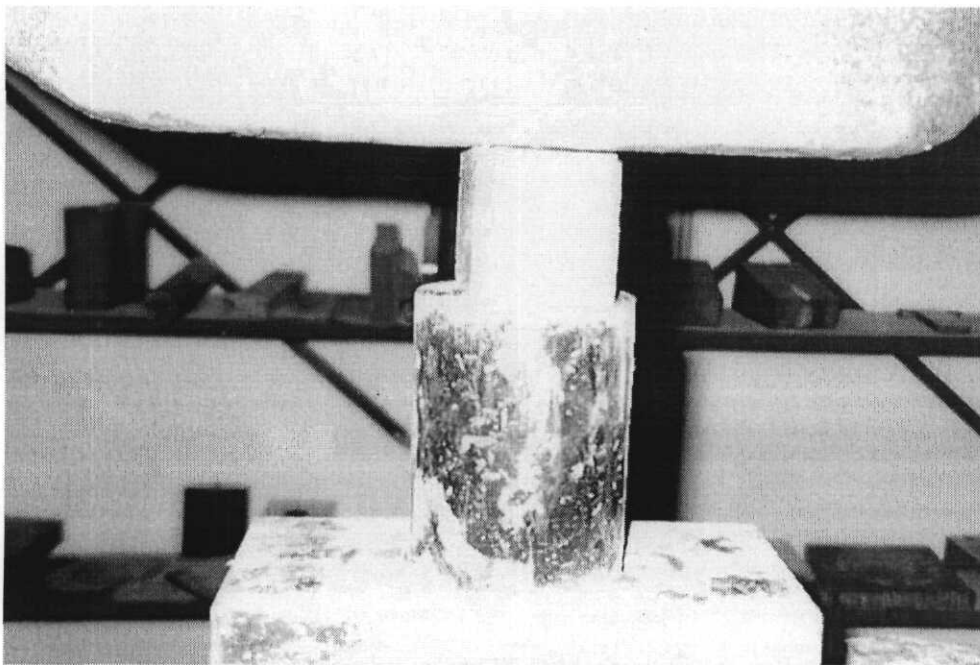


Figura 5.14, esfuerzo a compresión de los cubos de mortero.

5.4 Análisis de resultados

En el análisis de resultados tomaremos como apoyos métodos estadísticos para determinar si las reparaciones hechas pudiesen tener una resistencia igual a la de un testigo no fracturado, si es menor o mayor.

5.4.1 Análisis de resultados de los muretes de concreto.

Primero se realizan pruebas de igualdad de varianzas en el programa minitab (con métodos paramétricos y no paramétricos), esto para saber si la varianza de las resistencias a flexión de los muretes sin reparación es la misma que la varianza de las resistencias de los muretes con reparación. Sabiendo si las varianzas son iguales se puede hacer un intervalo de confianza con métodos paramétricos y no paramétricos, para el paramétrico se utilizara un intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos muestras con varianzas desconocidas pero iguales, esto con la distribución t de student y la S_p (desviación estándar ponderada), y para el no paramétrico se utilizara el método de Mann Whitney, en caso de que no fueran iguales las varianzas se aplicaría una prueba de Satterthwaite, teniendo en intervalo de confianza para la diferencia de dos medias podremos saber si las medias son iguales o diferentes, y darnos una idea de cual de las dos es mayor.^[29]

Los métodos paramétricos son para muestras que siguen una distribución normal y los no paramétricos para distribuciones diferentes a la normal, en nuestro caso tenemos dos muestras, una de tamaño 4 y otra de tamaño 2, a la de tamaño 4 si se le podría aplicar una prueba para saber si sigue una distribución normal, pero a la de tamaño 2 no, es por eso que se realizaran pruebas para ambos casos.

A la muestra de tamaño 2, le llamaremos muestra 1, y esta corresponderá a las resistencias de los muretes sin reparación y a la muestra de tamaño 4 que corresponde a las resistencias de los muretes reparados, le llamaremos muestra 2.

A continuación se presenta la prueba paramétrica y no paramétrica de igualdad de varianzas entre los muretes no reparados y los muretes reparados con los productos de la marca Sika.

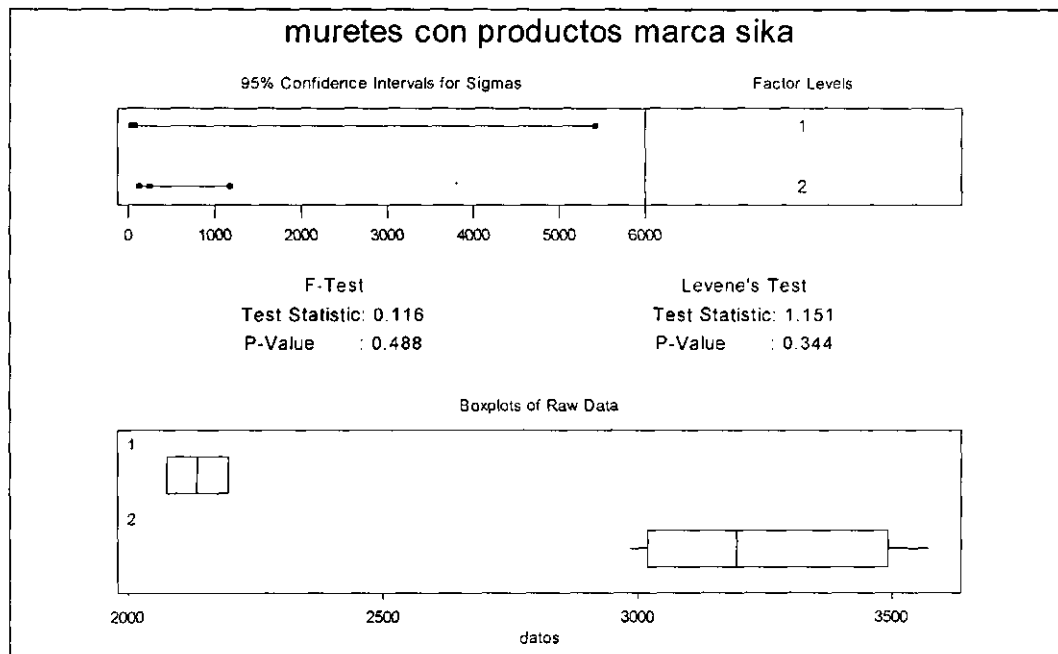


Figura 5.15, igualdad de varianzas con la marca Sika.

Como se puede ver el P – valor, tanto para la prueba de F (Prueba no paramétrica) como la de Levene (Prueba paramétrica), es mayor a .05 por lo que se asume que las varianzas son iguales para este producto.

A continuación se realiza un método no paramétrico para saber si las medianas de las dos muestras son iguales, para los muretes reparados con los productos de la marca Sika.

Mann-Whitney CI: x, y

x N = 2 Median = 2135.0
 y N = 4 Median = 3195.0
 Point estimate for ETA1-ETA2 is -1060.0
 89.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-1494.9,-790.0)

De lo anterior se deduce que las medianas de las dos muestras no son iguales, esto por que en su intervalo no tienen el valor de cero.

Ahora se procede a realizar una prueba paramétrica para saber el intervalo de confianza para la diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales. Con la finalidad de saber si en el intervalo de confianza se encuentra el valor de cero, esto nos indicaría que las medias son iguales.

IC para la diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales :

muretes reparados con los productos de la marca Sika

sin reparacion muestra 1	con reparacion muestra 2
2,075 kg	2,985 kg
2,195 kg	3,570 kg
	3,130 kg
	3,260 kg

Tamaño de la Muestra 1 (n1):	2
Tamaño de la Muestra 2 (n2):	4
Nivel de confianza (1- α):	95%
Valor de α :	0.05
Valor de $\alpha/2$:	0.025
Desviación Estándar 1 S1:	84.85
Desviación Estándar 2 S2:	249.24
Media Ari1tmética (X1):	2,135.00
Media Ari1tmética (X2):	3,236.25

Resultados: Valor de $t_{\alpha/2}$: 2.776
 Valor de Sp: 219.98

Donde: μ_1 = media de las resistencias de los muretes sin reparación.
 μ_2 = media de las resistencias de los muretes con reparación.

Intervalo de Confianza:

-1630 kg < $\mu_1 - \mu_2$ < -572 kg

el valor de 0 no esta en el intervalo, lo que quiere decir que las medias no son iguales.
 Tabla 5.17, intervalo de confianza para las resistencias con la marca Sika.

Sabiendo que las medias no son iguales se procede a realizar una prueba de hipótesis para dos medias de diferentes muestras con varianzas desconocidas pero iguales, la hipótesis a probar será la siguiente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \text{ y } H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

μ_1 = es la media de la muestra de resistencias de los muretes sin reparación.

μ_2 = es la media de la muestra de las resistencias de los muretes reparados.

H_0 (hipótesis nula) : Propone que la media de la resistencia de los muretes sin daño es igual o mayor a la media de la resistencia de los muretes reparados. Las resistencias de los muretes reparados no fueron las deseadas.

H_1 (hipótesis alternativa) : Propone que la media de la resistencia de los productos sin daño es menor a la media de la resistencia de los muretes reparados. La reparación nos da una resistencia mayor a la de muretes sanos.

Prueba de Hipótesis para dos medias con varianzas desconocidas pero iguales):			
hipotesis de prueba para los productos de la marca Sika			
Tamaño de la muestra (n1):	2	muestra 1	muestra 2
Tamaño de la muestra (n2):	4	2,075 kg	2,985 kg
Media Aritmética (\bar{x}_1):	2,135.00	2,195 kg	3,570 kg
Media Aritmética (\bar{x}_2):	3,236.25		3,130 kg
Desviación Estándar (S1):	84.85		3,260 kg
Desviación Estándar (S2):	249.24		
Nivel de confianza (1- α):	95%		
Nivel de Significancia (α):	0.05		
Valor de $\alpha/2$:	0.025		
Valor del Estadístico de Prueba (t):	-5.781		
	Valor de $-t_{\alpha}$: -2.132	valor de t	valor de $-t_{\alpha}$
		-5.781	< -2.13
			Se Rechaza H_0
prueba de hipótesis		Valor del p-valor:	2.224E-03
$H_0: \mu_1 = \mu_2$	se acepta H_0 , si $t > -t_{\alpha}$	2.224E-03	< 0.05
$H_1: \mu_1 < \mu_2$	se rechaza H_0 , si $t < -t_{\alpha}$		Se Rechaza H_0

Tabla 5.18, Prueba de hipótesis para la marca Sika.

Se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que la media de las reparaciones es mayor a la media de muretes sanos, lo que se concluye que las reparaciones con productos de la marcas Sika son buenas.

A continuación se muestran las pruebas paramétrica y no paramétrica aplicada a las resistencias de los muretes reparados con los productos de la marca Sonneborn y los resistencias de los muretes sin reparación, para saber si las varianzas son iguales.

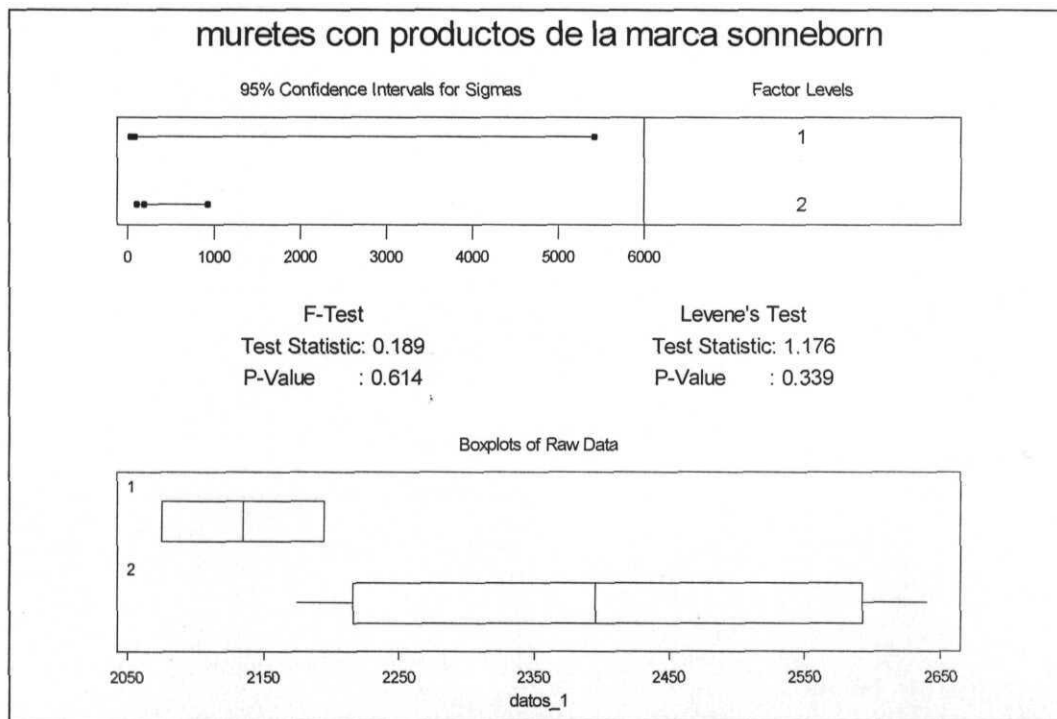


Figura 5.16, igualdad de varianzas de la marca Sonneborn.

El p -valor para ambas pruebas nos da mayor a .05 lo que nos indica que las varianzas de las muestras son iguales.

Ahora se obtendrá los intervalos de confianza con métodos, paramétrico y no paramétrico.

Mann-Whitney CI: x_1, y_1

x_1 N = 2 Median = 2135.0
 y_1 N = 4 Median = 2395.0
 Point estimate for ETA1-ETA2 is -260.0
 89.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-565.0,19.9)

Esta prueba no paramétrica de mann whitney nos indica que las medianas de las resistencias de los muretes sanos como las medianas de los muretes reparados con productos de la marca Sonneborn son iguales, ya que en el intervalo de confianza para la diferencia de estas medianas se encuentra el valor de cero.

De esta forma se procede a calcular por medio de un método paramétrico un intervalo de confianza para la diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales, si el valor de 0 se encuentra en este intervalo de confianza nos indicaría que las medias son iguales.

IC para la diferencia de <u>medias</u> con <u>varianzas desconocidas pero iguales</u> :			
muretes reparados con los productos de la marca Sonneborn			
sin reparacion	con reparacion		
muestra 1	muestra 2		
2,075 kg	2,340 kg	Tamaño de la Muestra 1 (n1):	2
2,195 kg	2,640 kg	Tamaño de la Muestra 2 (n2):	4
	2,175 kg	Nivel de confianza (1- α):	95%
	2,450 kg	Valor de α :	0.05
		Valor de $\alpha/2$:	0.025
		Desviación Estándar 1 S1:	84.85
		Desviación Estándar 2 S2:	195.21
		Media Ari1tmética (X1):	2,135.00
		Media Ari1tmética (X2):	2,401.25
Resultados:		Donde:	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	2.776	μ_1 =	media de las resistencias de los muretes sin reparación.
Valor de Sp:	174.30	μ_2 =	media de las resistencias de los muretes con reparación.
Intervalo de Confianza:			
-685 kg < $\mu_1 - \mu_2$ < 153 kg			

el valor de 0 se encuentra en el intervalo de confianza lo que nos indicaria que las medias son iguales.

Tabla 5.19, intervalo de confianza para la marca Sonneborn.

Como conclusión se tiene que en ambos métodos, paramétrico y no paramétrico, el valor de cero se encuentra en sus intervalos, por lo se concluye que las medias son iguales, tanto las resistencias de los muretes sanos, como los muretes reparados.

Ahora lo que se hará son pruebas para saber si la calidad de las reparaciones son iguales o alguna de ellas es mayor, lo primero que se hará son pruebas para determinar si las dos muestras siguen distribuciones normales. A continuación se muestran estas pruebas en formato de minitab.

En este caso como las dos muestras son de tamaño 4, se les puede aplicar una prueba para determinar si siguen una distribución normal, si es así aplicaremos una prueba paramétrica para determinar si sus varianzas son iguales, y así obtendremos el intervalo de confianza para diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales.

Descriptive Statistics

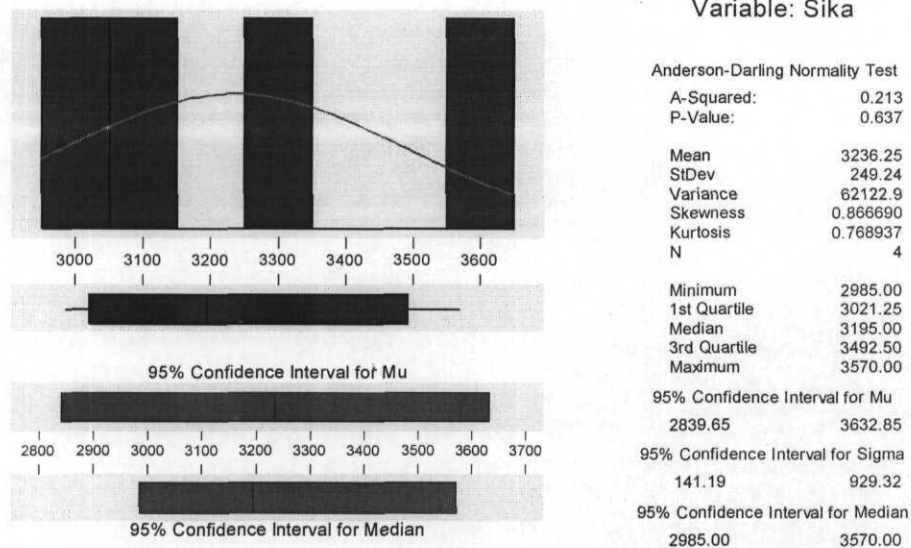
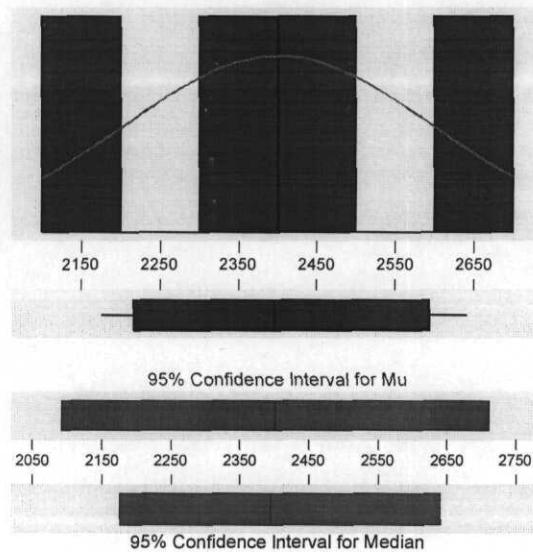


Figura 5.17, Distribución normal para la marca Sika.

En la Figura 5.17, podemos notar que el P valor es mayor a .05, por lo que se asume que las resistencias de los muretes reparados con los productos de la marca Sika siguen una distribución normal.

Descriptive Statistics



Variable: Sonneborn

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.158
P-Value: 0.860

Mean: 2401.25
StDev: 195.21
Variance: 38106.3
Skewness: 0.171507
Kurtosis: 1.90E-02
N: 4

Minimum: 2175.00
1st Quartile: 2216.25
Median: 2395.00
3rd Quartile: 2592.50
Maximum: 2640.00

95% Confidence Interval for Mu
2090.63 2711.87

95% Confidence Interval for Sigma
110.58 727.84

95% Confidence Interval for Median
2175.00 2640.00

Figura 5.18, distribución normal para la marca Sonneborn.

En la Figura 5.18, correspondiente a los resultados de las resistencias obtenidas de los muretes reparados con los productos de la marca Sonneborn, podemos ver que el p – valor es mayor a .05, por lo tanto tales resultados siguen una distribución normal.

El segundo paso es verificar si las varianzas de las dos muestras de resultados son iguales, a continuación se muestra esta prueba.

El P – valor de la prueba en la figura 5.19, es mayor a .05, por lo que se asume que las varianzas de los resultados obtenidos de las resistencias de los muretes reparados con los productos de la marca Sika como con los productos de la marca Sonneborn son iguales.

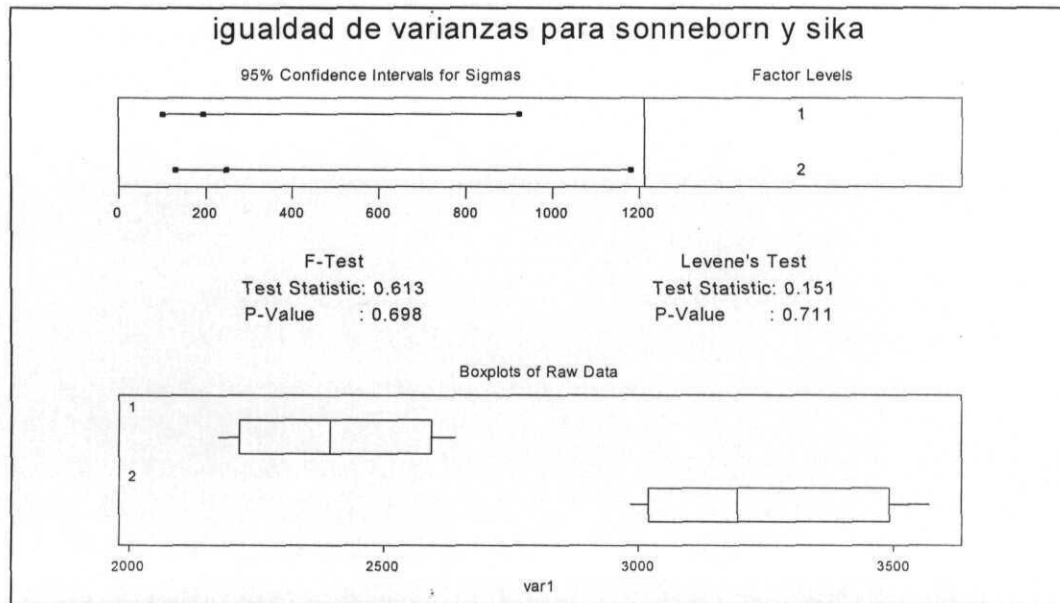


Figura 5.19, igualdad de varianzas de las dos muestras, Sika y Sonneborn.

De esta forma se procede a calcular el intervalo de confianza para la diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales, con este intervalos nos podremos dar una idea de cómo son las medias de los resultados entre si, si son iguales o diferentes y cual de las dos podría ser mayor.

IC para la diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales :

igualdad de resultados de resistencias entre las marcas Sika y Sonneborn

Sika muestra 1	Sonneborn muestra 2		
2,984 kg	2,340 kg	Tamaño de la Muestra 1 (n1):	4
3,570 kg	2,640 kg	Tamaño de la Muestra 2 (n2):	4
3,130 kg	2,175 kg	Nivel de confianza (1- α):	95%
3,260 kg	2,450 kg	Valor de α :	0.05
		Valor de $\alpha/2$:	0.025
		Desviación Estándar 1 S1:	249.58
		Desviación Estándar 2 S2:	195.21
		Media Ari1tmética (X1):	3,236.00
		Media Ari1tmética (X2):	2,401.25

Resultados:

Valor de $t_{\alpha/2}$: 2.447
Valor de S_p : 224.05

Donde:

μ_1 = media de las resistencias de los muretes con reparación de Sika.
 μ_2 = media de las resistencias de los muretes con reparación de Sonneborn.

Intervalo de Confianza:

447 kg < $\mu_1 - \mu_2$ < 1222 kg

el valor de 0 no esta en el intervalo, lo que quiere decir que las medias no son iguales.

Tabla 5.20, intervalo de confianza para la diferencia de resistencias entre ambas marcas.

El valor de 0 no se encuentra en el intervalo de confianza para la diferencia de medias de los resultados de las resistencias de los muretes reparados con ambos productos, lo que nos hace suponer que las medias de estos resultados estadísticamente no son iguales. Y de esta forma se procede a realizar una prueba de hipótesis para saber si las resistencias de las reparaciones con el producto mas barato (Sika) es igual o menor a las resistencias obtenidas con el producto mas caro (Sonneborn).

la hipótesis a probar será la siguiente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \text{ y } H_1: \mu_1 > \mu_2$$

Donde:

μ_1 = es la media de la muestra de resistencias de los muretes reparados con productos de la marca Sika.

μ_2 = es la media de la muestra de las resistencias de los muretes reparados con productos de la marca Sonneborn.

H_0 (hipótesis nula) : propone que la media de la resistencia de los muretes reparados con Sika es igual o menor a la media de la resistencia de los muretes reparados con Sonneborn.

H_1 (hipótesis alternativa): propone que la media de la resistencia de los productos reparados con productos de Sika es mayor a la media de la resistencia de los muretes reparados Sonneborn.

Prueba de Hipótesis para dos medias con varianzas desconocidas pero iguales):			
hipotesis de prueba para los productos de la marca Sika			
Tamaño de la muestra (n1):	4	Sonneborn	Sika
Tamaño de la muestra (n2):	4	2,340 kg	2,985 kg
Media Aritmética (\bar{x}_1):	2,401.25	2,640 kg	3,570 kg
Media Aritmética (\bar{x}_2):	3,236.25	2,175 kg	3,130 kg
Desviación Estándar (S1):	195.21	2,450 kg	3,260 kg
Desviación Estándar (S2):	249.24		
Nivel de confianza (1- α):	95%		
Nivel de Significancia (α):	0.05		
Valor de $\alpha/2$:	0.025		
Valor del Estadístico de Prueba (t):	-5.275		
Valor de $-t_{\alpha}$:	-1.943	valor de t	valor de $-t_{\alpha}$
		-5.275	< -1.94 Se Rechaza Ho
prueba de hipótesis			
Ho: $\mu_1 = \mu_2$	se acepta Ho, si $t > -t_{\alpha}$	Valor del p-valor:	2.224E-03
H1: $\mu_1 > \mu_2$	se rechaza Ho, si $t < -t_{\alpha}$	2.224E-03	< 0.05 Se Rechaza Ho

Tabla 5.21, prueba de hipótesis de diferencia de resistencias entre las marcas.

Se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que hay un 95% de probabilidades de que la media de las resistencias obtenidas de las reparaciones con productos de la marca Sika sea mayor a la media de las resistencias obtenidas con las reparaciones hechas con productos de la marca Sonneborn. en lo que podemos deducir que el producto mas barato (Sika) da mejores resultados que el producto mas caro (Sonneborn).

5.4.2 Análisis de resultados de los cilindros de concreto

Primero se realizan pruebas de igualdad de varianzas en el programa minitab (con métodos paramétricos y no paramétricos), esto para saber si la varianza de las resistencias a flexión de los cilindros sin reparación es la misma que la varianza de las resistencias de los cilindros con reparación. Sabiendo si las varianzas son iguales se puede hacer un intervalo de confianza con métodos paramétricos y no paramétricos, para el paramétrico se utilizará un intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos muestras con varianzas desconocidas pero iguales, esto con la distribución t de student y la S_p (desviación estándar ponderada), y para el no paramétrico se utilizara el método de Mann Whitney, en caso de que no fueran iguales las varianzas se aplicaría una prueba de Satterthwaite, teniendo en intervalo de confianza para la diferencia de dos medias podremos saber si las medias son iguales o diferentes, y darnos una idea de cual de las dos es mayor.^[29]

Los métodos paramétricos son para muestras que siguen una distribución normal y los no paramétricos para distribuciones diferentes a la normal, en nuestro caso tenemos dos muestras, una de tamaño 3 y otra de tamaño 2, a la de tamaño 3 si se le podría aplicar una prueba para saber si sigue una distribución normal, pero a la de tamaño 2 no, es por eso que se realizaran pruebas para ambos casos.

A la muestra de tamaño 2, le llamaremos muestra 1, y esta corresponderá a las resistencias de los cilindros sin reparación y a la muestra de tamaño 4 la cual corresponderá a la que corresponde a las resistencias de los cilindros reparados, le llamaremos muestra 2.

A continuación se presenta la prueba paramétrica y no paramétrica de igualdad de varianzas entre los cilindros no reparados y los cilindros reparados con los productos de la marca Sika.

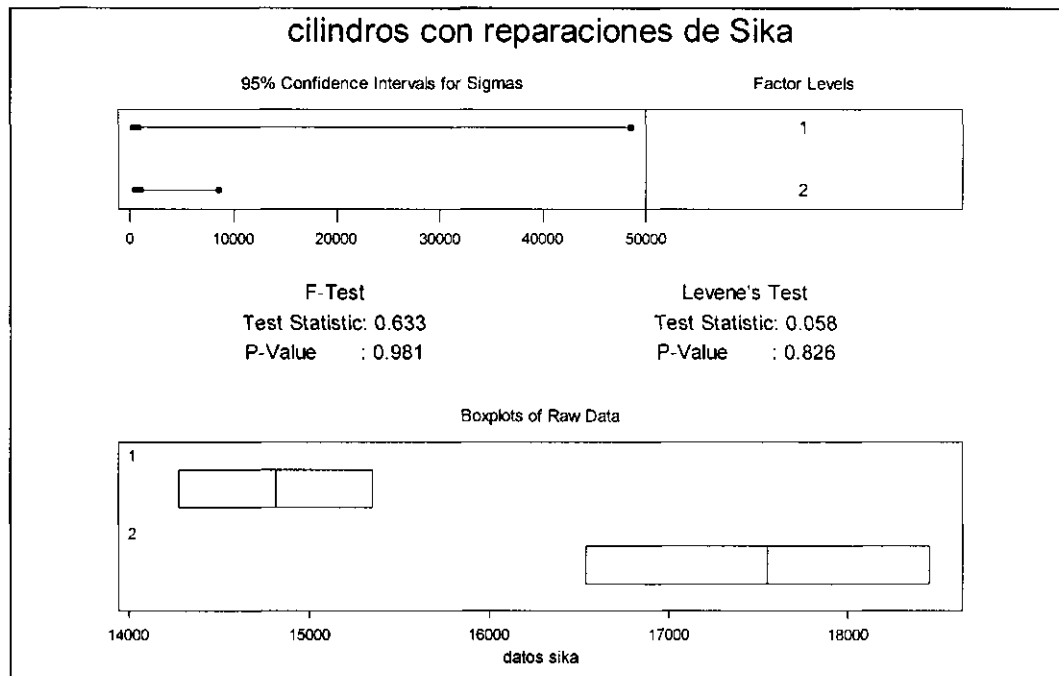


Figura 5.20, igualdad de varianzas.

El P –valor es mayor a .05, tanto para la prueba de Levene como la prueba de F, por lo que estadísticamente la varianza de los resultados de resistencias de las reparaciones con los productos de la marca Sika y la varianza de las resistencias de los cilindros sin reparación son iguales.

A continuación se realiza un método no paramétrico para saber si las medianas de las dos muestras son iguales, para los cilindros reparados con los productos de la marca Sika.

Mann-Whitney CI: x sika, y sika

x sika N = 2 Median = 14813
y sika N = 3 Median = 17550
Point estimate for ETA1-ETA2 is -2682
85.1 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-4175,-1190)

A continuación se muestra el cálculo del intervalo de confianza para la diferencia de medias de resistencias entre los cilindros reparados con productos de la marca Sika y los cilindros sin reparación (método paramétrico).

IC para la diferencia de <u>medias</u> con <u>varianzas desconocidas pero iguales</u> :			
cilindros reparados con los productos de la marca Sika			
sin reparación	con reparación	Resultados:	Valor de $t_{\alpha/2}$: 3.182 Valor de S_p : 895.15
muestra 1	muestra 2		
14,275 kg	17,550 kg		
15,350 kg	16,540 kg		
	18,450 kg		
Intervalo de Confianza:			
Tamaño de la Muestra 1 (n_1):	2	-5301 kg < $\mu_1 - \mu_2$ < -100 kg	
Tamaño de la Muestra 2 (n_2):	3		
Nivel de confianza ($1-\alpha$):	95%		
Valor de α :	0.05		
Valor de $\alpha/2$:	0.025		
Desviación Estándar 1 S_1 :	760.14		
Desviación Estándar 2 S_2 :	955.53		
Media Ari1tmética (X_1):	14,812.50		
Media Ari1tmética (X_2):	17,513.33		
		Donde:	μ_1 = media de las resistencias de los muretes sin reparación. μ_2 = media de las resistencias de los muretes con reparación de Sika.

el valor de 0 no esta en el intervalo, lo que quiere decir que las medias no son iguales.

Tabla 5.22, intervalo de confianza de la marca Sika.

Ambos intervalos de confianza nos dicen que la medianas y medias de las dos muestras son diferentes, por lo que se procede a calcular una prueba de hipótesis para dos medias con varianzas desconocidas pero iguales. La hipótesis a probar será la siguiente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \text{ y } H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

μ_1 = es la media de la muestra de resistencias de los cilindros sin reparación.

μ_2 = es la media de la muestra de las resistencias de los cilindros reparados.

H_0 (hipótesis nula) : Propone que la media de la resistencia de los cilindros sin daño es igual o mayor a la media de la resistencia de los cilindros reparados. La reparación no fue la deseada.

H1 (hipótesis alternativa) : Propone que la media de la resistencia de los productos sin daño es menor a la media de la resistencia de los cilindros reparados. La reparación nos da una resistencia mayor a la resistencia de cilindros sanos.

Prueba de Hipótesis para dos medias con varianzas desconocidas pero iguales):			
hipótesis de prueba para los productos de la marca Sika (muretes de concreto)			
Tamaño de la muestra (n1):	2	muestra 1	muestra 2
Tamaño de la muestra (n2):	3	14,275 kg	17,550 kg
Media Aritmética (\bar{X} 1):	14,812.50	15,350 kg	16,540 kg
Media Aritmética (\bar{X} 2):	17,513.33		18,450 kg
Desviación Estándar (S1):	760.14		
Desviación Estándar (S2):	955.53		
Nivel de confianza (1- α):	95%		
Nivel de Significancia (α):	0.05		
Valor de $\alpha/2$:	0.025		
Valor del Estadístico de Prueba (t):	-3.305	valor de t	valor de $-t\alpha$
	Valor de $-t\alpha$: -2.353	-3.305 <	-2.35 Se Rechaza Ho
prueba de hipotesis			
Ho: $\mu_1 = \mu_2$	se acepta Ho, si $t > -t\alpha$	Valor del p-valor:	2.278E-02
H1: $\mu_1 < \mu_2$	se rechaza Ho, si $t < -t\alpha$	2.278E-02 <	0.05 Se Rechaza Ho

Tabla 5.23, Prueba de hipótesis para la marca Sika.

En conclusión se rechaza la hipótesis nula, lo que quiere decir que la reparación si sirve y que tenemos un 95% de probabilidad de que las resistencias que se obtengan de la reparación de cilindros con productos de la marca Sika sean mayores a las resistencias de cilindros sanos, la reparación es buena.

Análisis de resultados con la marca Sonneborn

De igual forma como se hizo para la marca Sika, se hará para la marca Sonneborn, primero se harán pruebas paramétricas y no paramétricas para saber si las varianzas de los resultados de las resistencias de los cilindros sin reparar y las resistencias de los cilindros reparados con la marca Sonneborn son iguales.

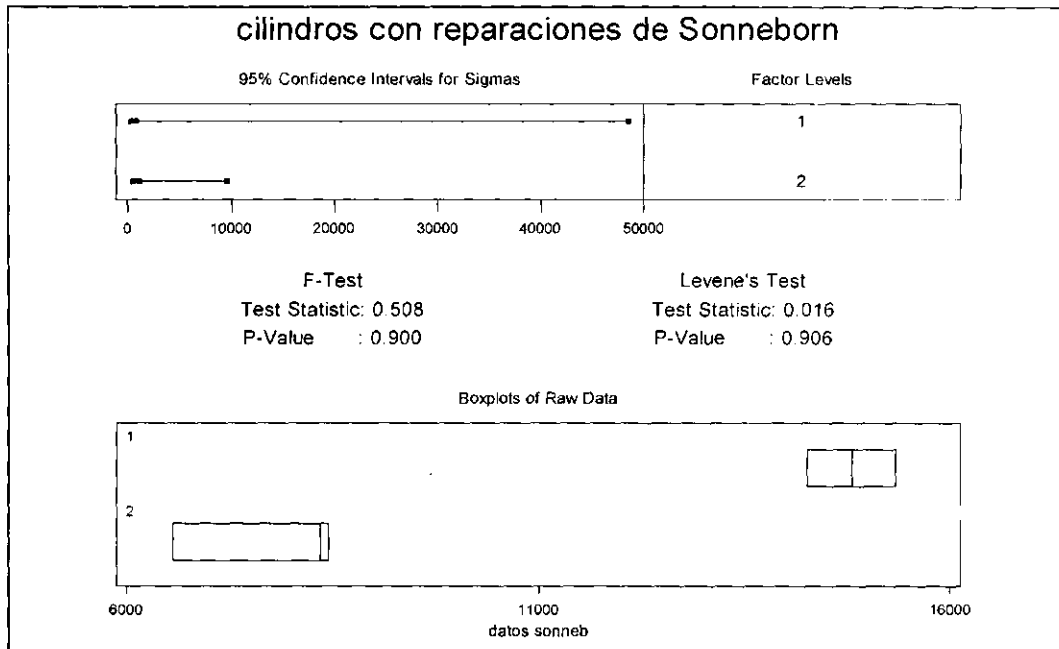


Figura 5.21, Igualdad de varianzas para la marca Sonneborn.

El P –valor de la prueba paramétrica y no paramétrica es mayor al .05, por lo que se asume que las varianzas son iguales.

Mann-Whitney CI: x sonneborn, y sonneborn

x sonneb N = 2 Median = 14813
 y sonneb N = 3 Median = 8340
 Point estimate for ETA1-ETA2 is 6955
 85.1 Percent CI for ETA1-ETA2 is (5825,8800)

La prueba no paramétrica nos indica que las medianas de las muestras son diferentes esto por que el valor de cero no se encuentra en su intervalo.

A continuación se realiza una prueba de diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales, esto para saber si la diferencia es igual a cero, lo que nos indicaría que las medias son iguales.

IC para la diferencia de <u>medias</u> con <u>varianzas desconocidas pero iguales</u> :			
cilindros reparados con los productos de la marca Sonneborn			
sin reparación	con reparación		
muestra 1	muestra 2	Resultados:	
14,275 kg	8,340 kg	Valor de $t_{\alpha/2}$:	3.182
15,350 kg	8,450 kg	Valor de S_p :	975.23
	6,550 kg	Intervalo de Confianza:	
Tamaño de la Muestra 1 (n_1):	2	4199 kg < $\mu_1 - \mu_2$ < 9866 kg	
Tamaño de la Muestra 2 (n_2):	3		
Nivel de confianza ($1-\alpha$):	95%	Donde:	
Valor de α :	0.05	μ_1 = media de las resistencias de los muretes sin reparación.	
Valor de $\alpha/2$:	0.025	μ_2 = media de las resistencias de los muretes con reparación de Sonneborn.	
Desviación Estándar 1 S_1 :	760.14		
Desviación Estándar 2 S_2 :	1,066.63		
Media Aritmética (X1):	14,812.50		
Media Aritmética (X2):	7,780.00		

el valor de 0 no esta en el intervalo, lo que quiere decir que las medias no son iguales.

Tabla 5.24, Intervalo de confianza para la marca Sonneborn.

El valor de cero no esta en el intervalo, lo que nos quiere decir que las medias de las resistencias sin reparación y con reparación con productos de la marca Sonneborn no son iguales, de esta forma se procede a realizar una prueba de hipótesis, como se muestra a continuación:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \text{ y } H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

μ_1 = es la media de la muestra de resistencias de los cilindros sin reparación.

μ_2 = es la media de la muestra de las resistencias de los cilindros reparados.

H_0 (hipótesis nula) : Propone que la media de la resistencia de los cilindros sin daño es igual o mayor a la media de la resistencia de los cilindros reparados. La reparación no sirvió.

H_1 (hipótesis alternativa) : Propone que la media de la resistencia de los productos sin daño es menor a la media de la resistencia de los cilindros reparados. La reparación nos da una resistencia mayor a la resistencia de cilindros sanos.

Prueba de Hipótesis para dos medias con varianzas desconocidas pero iguales):			
hipotesis de prueba para los productos de la marca Sonneborn			
Tamaño de la muestra (n1):	2	muestra 1	muestra 2
Tamaño de la muestra (n2):	3	14,275 kg	8,340 kg
Media Aritmética (\bar{x} 1):	14,812.50	15,350 kg	8,450 kg
Media Aritmética (\bar{x} 2):	7,780.00		6,550 kg
Desviación Estándar (S1):	760.14		
Desviación Estándar (S2):	1,066.63		
Nivel de confianza (1- α):	95%		
Nivel de Significancia (α):	0.05		
Valor de $\alpha/2$:	0.025		
Valor del Estadístico de Prueba (t):	7.899	valor de t	valor de - t_{α}
Valor de - t_{α} :	-2.353	7.899	> -2.35
			Se Acepta Ho
prueba de hipotesis			
Ho: $\mu_1 = \mu_2$	se acepta Ho, si t > - t_{α}	Valor del p-valor:	2.278E-02
H1: $\mu_1 < \mu_2$	se rechaza Ho, si t < - t_{α}	2.278E-02	< 0.05 Se Rechaza Ho

Tabla 5.25, Prueba de hipótesis para la marca Sonneborn.

Se acepta la hipótesis nula, lo que quiere decir que tenemos un 95% de probabilidades de que las resistencias de los cilindros sanos sean mayores o iguales a las resistencias de los cilindros reparados con los productos de la marca Sonneborn, la reparación no fue la deseada.

Análisis de resultados para las reparaciones con WR Meadows

Primeramente se realizara una prueba de igualdad de varianzas entre las muestras de resistencias de cilindros sin reparación y las resistencias de los cilindros reparados. Esto se realizara en minitab.

A continuación se realiza esta prueba para los cilindros reparados con los productos de la marca WR Meadows.

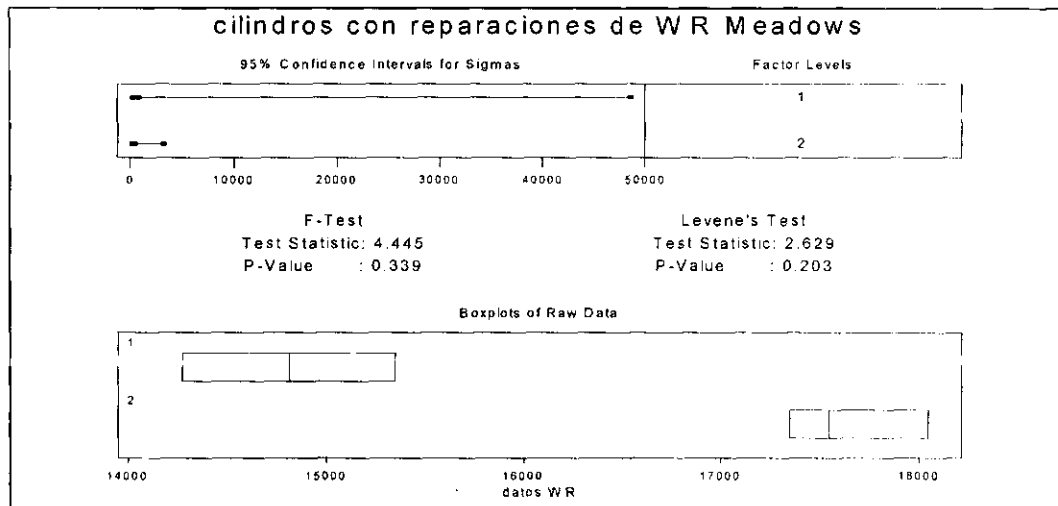


Figura 5.22, igualdad de varianzas para la marca WR Meadows.

Esta prueba paramétrica y no paramétrica nos dice que las varianzas de las dos muestras son iguales.

A continuación se calcula el intervalo de confianza para la diferencia de medianas con una prueba no paramétrica.

Mann-Whitney CI: x WR, y WR

x WR N = 2 Median = 14813
 y WR N = 3 Median = 17550
 Point estimate for ETA1-ETA2 is -2887
 85.1 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-3775,-2000)

De la prueba anterior se deduce que las medianas de las resistencias de los cilindros no reparados y los cilindros reparados con productos de la marca WR Meadows son diferentes, esto por que en el intervalos de confianza no se encuentra el valor de cero.

Y así se procede a calcular con un método paramétrico la diferencia de medias con varianzas desconocidas pero iguales, esto para saber si la diferencia es igual a cero, lo que nos indicaría que las medias son iguales.

IC para la diferencia de <u>medias</u> con <u>varianzas desconocidas pero iguales</u> :			
cilindros reparados con los productos de la marca WR Meadows			
sin reparación	con reparación	Resultados:	
muestra 1	muestra 2		Valor de $t_{\alpha/2}$: 3.182
14,275 kg	18,050 kg		Valor de S_p : 528.46
15,350 kg	17,350 kg		
	17,550 kg		
		Intervalo de Confianza:	
Tamaño de la Muestra 1 (n_1):	2	-4373 kg < $\mu_1 - \mu_2$ < -1302 kg	
Tamaño de la Muestra 2 (n_2):	3		
Nivel de confianza ($1-\alpha$):	95%		
Valor de α :	0.05	Donde:	μ_1 = media de las resistencias de los muretes sin reparación.
Valor de $\alpha/2$:	0.025		μ_2 = media de las resistencias de los muretes con reparación de WR Meadows.
Desviación Estándar 1 S_1 :	760.14		
Desviación Estándar 2 S_2 :	360.56		
Media Aritmética (X_1):	14,812.50		
Media Aritmética (X_2):	17,650.00		

el valor de 0 no esta en el intervalo, lo que quiere decir que las medias no son iguales.

Tabla 5.26, Intervalo de confianza para la marca WR Meadows.

Como ya se mostró ambas pruebas, paramétrica y no paramétrica nos dicen que las medias y medianas son diferentes, de esta forma se procede a realizar una prueba de hipótesis la cual dice lo siguiente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \text{ y } H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

μ_1 = es la media de la muestra de resistencias de los cilindros sin reparación.

μ_2 = es la media de la muestra de las resistencias de los cilindros reparados.

H_0 (hipótesis nula) : Propone que la media de la resistencia de los cilindros sin daño es igual o mayor a la media de la resistencia de los cilindros reparados. La reparación no fue la deseada.

H1 (hipótesis alternativa) : Propone que la media de la resistencia de los productos sin daño es menor a la media de la resistencia de los cilindros reparados. La reparación nos da una resistencia mayor a la resistencia de cilindros sanos.

Prueba de Hipótesis para dos medias con varianzas desconocidas pero iguales):			
hipotesis de prueba para los productos de la marca WR Meadows			
Tamaño de la muestra (n1):	2	muestra 1	muestra 2
Tamaño de la muestra (n2):	3	14,275 kg	18,050 kg
Media Aritmética ($\bar{X}1$):	14,812.50	15,350 kg	17,350 kg
Media Aritmética ($\bar{X}2$):	17,650.00		17,550 kg
Desviación Estándar (S1):	760.14		
Desviación Estándar (S2):	360.56		
Nivel de confianza (1- α):	95%		
Nivel de Significancia (α):	0.05		
Valor de $\alpha/2$:	0.025		
Valor del Estadístico de Prueba (t):	-5.882	valor de t	valor de -t α
Valor de -t α :	-2.353	-5.882	< -2.35
			<u>Se Rechaza Ho</u>
prueba de hipotesis			
H0: $\mu_1 = \mu_2$	se acepta Ho, si t > -t α	Valor del p-valor:	2.278E-02
H1: $\mu_1 < \mu_2$	se rechaza Ho, si t < -t α	2.278E-02	< 0.05 <u>Se Rechaza Ho</u>

Tabla 5.27, Prueba de hipótesis para la marca WR Meadows.

Se rechaza la hipótesis nula, lo que quiere decir que tenemos un 95% de probabilidades de que la resistencia que se obtenga de las reparaciones hechas con productos de la marca WR Meadows sean mayor que las resistencias de los cilindros sanos.

Ahora se procederá a calcular en que rango se encuentran las reparaciones, cuales son mejores y cuales no son muy buenas, para esto se hará una prueba de hipótesis, la cual dice los siguiente.

H0: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$, y H1: al menos una es diferente.

Donde:

μ_1 = es la media de la muestra de resistencias de los cilindros sin reparación.

μ_2 = es la media de la muestra de las resistencias de los cilindros reparados de la marca Sika.

μ_3 = es la media de la muestra de las resistencias de los cilindros reparados de la marca Sonneborn.

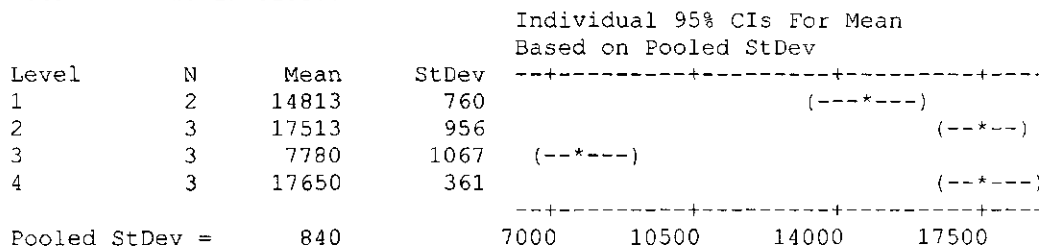
μ_4 = es la media de la muestra de las resistencias de los cilindros reparados de la marca WR Meadows.

H_0 (hipótesis nula) : Propone que todas las medias de las resistencias de los cilindros sin reparación y con reparación son iguales.

H_1 (hipótesis alternativa) : Propone que por lo menos alguna de las medias es diferente a otra.

One-way ANOVA: resistencias versus marca

Analysis of Variance for resisten					
Source	DF	SS	MS	F	P
marca	3	192579271	64193090	90.98	0.000
Error	7	4939279	705611		
Total	10	197518550			



Conclusión, de la anterior prueba podemos concluir que las resistencias obtenidas de los cilindros sanos es diferente a cualquier media de resistencias de cilindros reparados, los cilindros que mas resistencias obtuvieron fueron los reparados con las marcas Sika y WR Meadows, estas resistencias se pueden considerar iguales, en tercera posición se encuentran las resistencias obtenidas con los cilindros sin reparación, y por ultimo las resistencias obtenidas con los cilindros reparados con los productos de la marca Sonneborn.

5.4.3 Análisis de resultados de cubos impermeabilizados

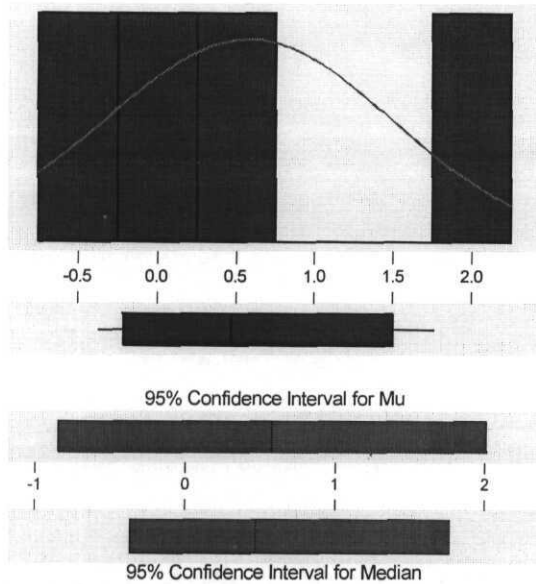
Los resultados a analizar serán las absorciones calculadas antes y después de la aplicación de los productos de impermeabilización a los cubos de mortero, las diferencias de estas absorciones se revisaran con el programa minitab para determinar si siguen una distribución normal. Las absorciones antes y después de la aplicación del producto de impermeabilización y la diferencia entre estas aparece en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28, Absorciones antes y después de la aplicación del producto de impermeabilización, y la diferencia entre estas

impermeabilización con producto de la marca Sika			
numero de cubo	% de adsorción (antes)	% de absorción después	diferencia
1	4.32%	4.08%	0.24%
2	4.49%	4.85%	-0.37%
3	5.08%	3.32%	1.76%
4	4.54%	3.84%	0.70%
impermeabilización con producto de la marca Sonneborn			
numero de cubo	% de adsorción (antes)	% de absorción después	diferencia
5	4.83%	4.59%	0.24%
6	4.12%	4.23%	-0.11%
7	4.70%	4.41%	0.29%
8	4.31%	4.12%	0.19%

Se introducen los datos (diferencias de absorciones) al programa estadístico minitab, este nos da un reporte donde viene el P valor para estos datos, si este valor es mayor a 0.05, las diferencias de absorción siguen una distribución normal y se puede hacer la prueba de hipótesis con el método de t de student para saber si las absorciones antes y después de la aplicación del producto de impermeabilización son iguales. En la Figura 5.23, tenemos el reporte grafico de minitab para las absorciones con el producto Sika, y en la Figura 5.24 el reporte grafico de minitab para las diferencias de absorciones de Sonneborn.

Descriptive Statistics

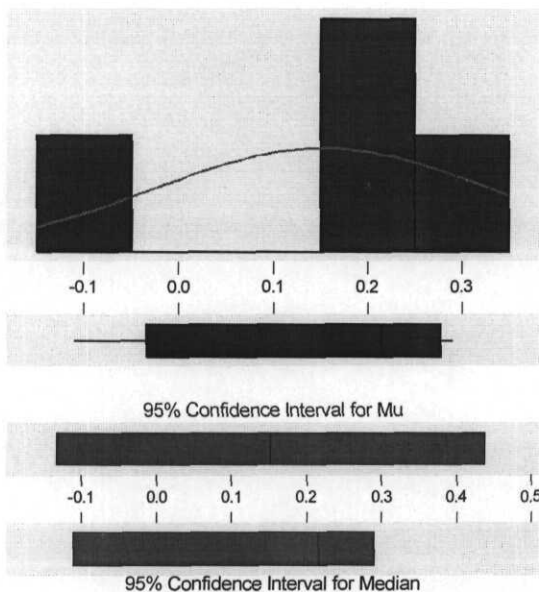


Variable: Sika

Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared:	0.190
P-Value:	0.735
Mean	0.582500
StDev	0.899050
Variance	0.808292
Skewness	0.669602
Kurtosis	0.578857
N	4
Minimum	-0.37000
1st Quartile	-0.21750
Median	0.47000
3rd Quartile	1.49500
Maximum	1.76000
95% Confidence Interval for Mu	
-0.84809	2.01309
95% Confidence Interval for Sigma	
0.50930	3.35215
95% Confidence Interval for Median	
-0.37000	1.76000

Figura 5.23, reporte de minitab para la dist. Normal de las diferencias de absorciones de la aplicación de producto Sika.

Descriptive Statistics



Variable: Sonneborn

Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared:	0.442
P-Value:	0.126
Mean	0.152500
StDev	0.179699
Variance	3.23E-02
Skewness	-1.69639
Kurtosis	3.01436
N	4
Minimum	-1.1E-01
1st Quartile	-3.5E-02
Median	0.215000
3rd Quartile	0.277500
Maximum	0.290000
95% Confidence Interval for Mu	
-1.3E-01	0.438441
95% Confidence Interval for Sigma	
0.101798	0.670016
95% Confidence Interval for Median	
-1.1E-01	0.290000

Figura 5.24, reporte de minitab para la distribución normal de las diferencias de absorciones de la aplicación de producto Sonneborn.

En ambos casos, tanto con los productos de Sika como Sonneborn, las diferencias de absorciones siguen una distribución normal, los valores de P valor son mayores a 0.05. por lo tanto se prosigue a realizar las pruebas de hipótesis. La prueba de hipótesis es la siguiente.

$$H_0: \mu_0 = \mu_1, \text{ y } H_1: \mu_0 \neq \mu_1$$

Donde:

μ_0 = es cero, ya que si las medias de la absorción antes y después de la aplicación de los productos de impermeabilización son iguales la diferencia será cero.

μ_1 = es la media de las diferencias de absorciones antes y después de la aplicación del producto de impermeabilización.

H_0 (hipótesis nula): las medias de las muestras de absorciones son iguales antes y después de la aplicación del producto.

H_1 (hipótesis alternativa): la medias de las muestras de absorciones antes y después de la aplicación del producto de impermeabilización son diferentes.

Prueba de Hipótesis para la <u>media</u> de una muestra (<u>varianza desconocida</u>):		
impermeabilización de cubos de mortero con la marca Sika		
Valor a analizar (μ_0) =	0	
Tamaño de la muestra (n) =	4	
Media Aritmética (\bar{x}) =	0.583%	
Desviación Estándar Muestral (S) =	0.899%	
Nivel de confianza (1- α) =	95%	
Nivel de Significancia (α) =	0.05	
Valor de $\alpha/2$ =	0.025	
hipotesis nula =	Ho: $\mu_0 = \mu_1$	
hipotesis alternativa =	H1: $\mu_0 \neq \mu_1$	
<u>se acepta Ho si $t < t_{\alpha/2}$, de lo contrario se rechaza</u>		
Valor del Estadístico de Prueba ($ t $) =	1.297	
Valor de $t_{\alpha/2}$ =	3.18	
	valor de t	Valor de $t_{\alpha/2}$
Est. de prueba =	1.297	3.18
Valor de P - valor =	0.29	0.05
por lo tanto como se acepta la hipótesis nula		

Figura 5.25, Prueba de hipótesis para los cubos con marca Sika.

Prueba de hipótesis para la impermeabilización con producto de la marca Sonneborn.

Prueba de Hipótesis para la <u>media</u> de una muestra (<u>varianza desconocida</u>):			
impermeabilización de cubos de mortero con la marca Sonneborn			
Valor a analizar (μ_0) =	0		
Tamaño de la muestra (n) =	4		
Media Aritmética (\bar{x}) =	0.153%		
Desviación Estándar Muestral (S) =	0.180%		
Nivel de confianza (1- α) =	95%		
Nivel de Significancia (α) =	0.05		
Valor de $\alpha/2$ =	0.025		
hipotesis nula =	Ho: $\mu_0 = \mu_1$		
hipotesis alternativa =	H1: $\mu_0 \neq \mu_1$		
<u>se acepta Ho si $t < t_{\alpha/2}$, de lo contrario se rechaza</u>			
Valor del Estadístico de Prueba ($ t $) =	1.706		
Valor de $t_{\alpha/2}$ =	3.18		
	valor de t	<	Valor de $t_{\alpha/2}$
Est. de prueba =	1.706	<	3.18
Valor de P - valor =	0.19	>	0.05
por lo tanto como se acepta la hipótesis nula			

Figura 5.26, Prueba de hipótesis para los cubos de Sonneborn.

La conclusión de la prueba es que estadísticamente las absorciones antes y después de haber sido impermeabilizados los cubos son iguales, se acepta la hipótesis nula, la cual dice que las absorciones son iguales, no obtuvimos buenos resultados. Cabe mencionar que la aplicación del producto se realizó de acuerdo como lo sugería el fabricante, sin embargo como la muestra es menor a 30 cubos, no se tiene la suficiente información para determinar que el producto no cumple con la impermeabilización.

5.5 Análisis de las velocidades ultrasónicas de pulso

En la actualidad el único método no destructivo que hay para verificar la calidad del concreto en el lugar es el ultrasónico de pulso. Esta velocidad es la que tarda el pulso ultrasónico en pasar a través del cuerpo del concreto. El tiempo que toma el pulso el pasar a través del concreto y es medido electrónicamente.

Las velocidades altas generalmente indican que se tiene un concreto de buena calidad. En la tabla 5.29 se da una relación general que hay entre la calidad del concreto y las velocidades que arroja este aparato^[28].

Tabla 5.29, Calidad del concreto y las velocidades de pulso.

condición en general	velocidad de pulso m/s
excelente	arriba de 4,575
bueno	entre 3,660 y 4,575
cuestionable	entre 3,050 y 3,660
pobre	entre 2,135 y 3,050
muy pobre	debajo de 2,135

5.5.1 Calidad de la reparación en los muretes de concreto

A continuación se muestran los intervalos de confianza al 95%, para las velocidades ultrasónicas de pulso, antes y después de la reparación, para los dos productos. Estos intervalos de confianza, lo que nos indica es que tenemos un 95% de probabilidad de que la media de las velocidades de pulso se encuentre en este rango.

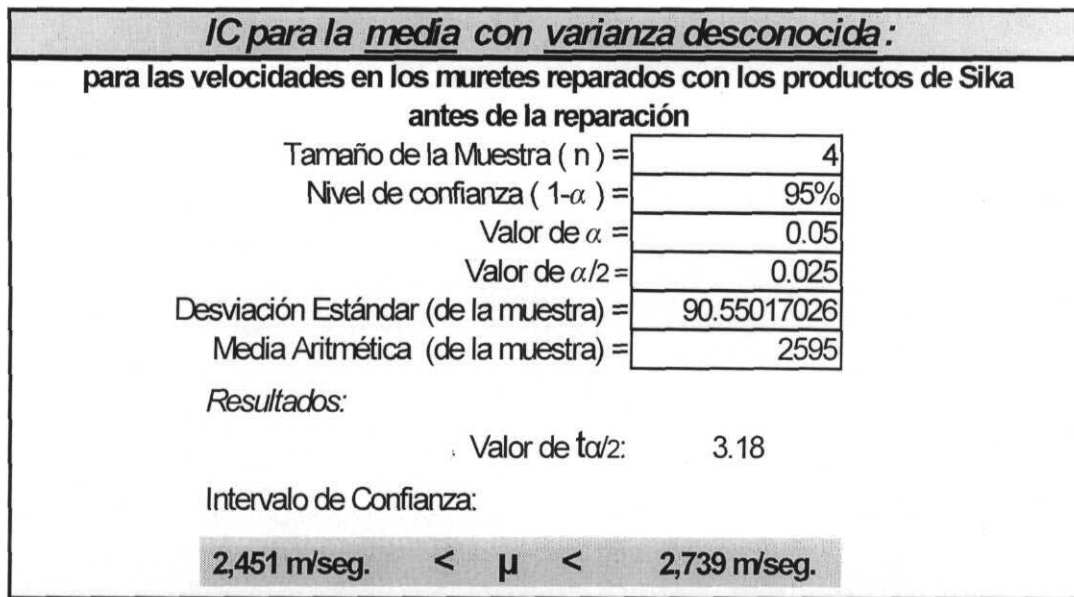


Figura 5.27, Intervalo de confianza para las velocidades en muretes antes de las reparaciones con productos de Sika.

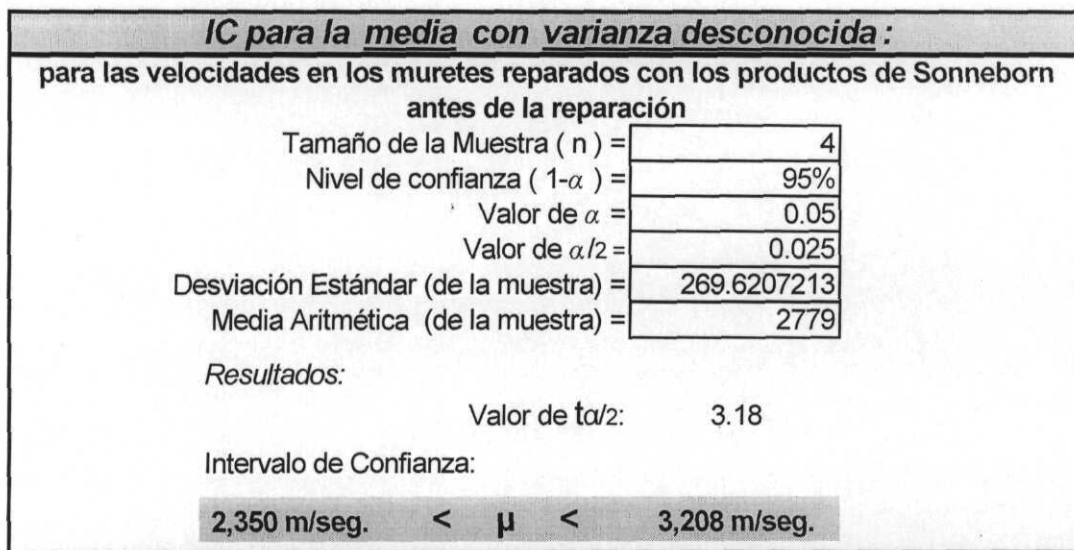


Figura 5.28, Intervalo de confianza de velocidades de pulso a través de muretes antes de ser reparados con productos de la marcas Sonneborn.

IC para la <u>media</u> con <u>varianza</u> desconocida :	
para las velocidades en los muretes reparados con los productos de Sika después de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	4
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	264.0749578
Media Aritmética (de la muestra) =	4442.25
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	3.18
Intervalo de Confianza:	
4,022 m/seg. < μ < 4,862 m/seg.	

Figura 5.29, Intervalo de confianza de las velocidades de pulso a través de muretes reparados con productos de la marca Sika.

IC para la <u>media</u> con <u>varianza</u> desconocida :	
para las velocidades en los muretes reparados con los productos de Sonneborn después de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	4
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	209.8269128
Media Aritmética (de la muestra) =	3695
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	3.18
Intervalo de Confianza:	
3,361 m/seg. < μ < 4,029 m/seg.	

Figura 5.30, Intervalo de confianza de las velocidades de pulso a través de los muretes de concreto reparados con productos de la marca Sonneborn.

Tabla 5.30, calidad del concreto antes y después de la reparación de los muretes de concreto.

con productos de reparación marca Sika	
media de la velocidad de pulso antes de la reparación (con grietas)	condición del concreto
IC de entre 2,450 a 2,739 m/seg.	pobre
media de la velocidad de pulso después de la reparación	condición del concreto
IC de entre 4,022 a 4862 m/seg.	entre bueno y excelente

con productos de reparación marca Sonneborn	
media de la velocidad de pulso antes de la reparación (con grietas)	condición del concreto
IC de entre 2,349 a 3,208 m/seg.	entre pobre y cuestionable
media de la velocidad de pulso después de la reparación	condición del concreto
IC de entre 2,450 a 2,739 m/seg.	bueno

De la Tabla 5.30, se tiene que tomar en cuenta que los muretes antes de la reparación tenían una grieta transversal en el centro, es por eso que el promedio de la velocidad ultrasónica de pulso es significativamente menor a la velocidad de pulso después de la reparación, tomando en cuenta esta observación, podemos decir que la prueba no destructiva de la velocidad ultrasónica de pulso es una buena opción para detectar grietas en concretos. En la parte donde existía la grieta (antes de la reparación) el concreto se encontraba entre pobre y cuestionable calidad según la tabla 5.29.

Con esta prueba (velocidad ultrasónica de pulso), también podemos tener una noción de la calidad de la reparación, si existe un cambio significativo (velocidad mas alta) en la velocidad de propagación del pulso, se puede presumir que hay una buena reparación.

5.5.2 Calidad de la reparación en los cilindros de concreto (juntas frías)

A continuación se muestran los intervalos de confianza al 95% obtenidos, esto dice que tenemos un 95% de probabilidad de que la media de las velocidades ultrasónicas de pulso que viaja a través de los cilindros de concreto estén en estos rangos.

IC para la media con varianza desconocida :	
para las velocidades en los cilindros reparados con los productos de Sika antes de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	3
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	113.6940339
Media Aritmética (de la muestra) =	4736.333333
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	4.30
Intervalo de Confianza:	
4,454 m/seg. < μ < 5,019 m/seg.	

Figura 5.31, Intervalo de confianza de las velocidades de pulso de los cilindros antes de la reparación con productos de la marca Sika.

IC para la media con varianza desconocida :	
para las velocidades en los cilindros reparados con los productos de Sonneborn antes de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	3
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	304.5231245
Media Aritmética (de la muestra) =	4703.333333
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	4.30
Intervalo de Confianza:	
3,947 m/seg. < μ < 5,460 m/seg.	

Figura 5.32, intervalo de confianza de las velocidades de pulso de los cilindros antes de la reparación con productos de la marca Sonneborn.

IC para la <u>media</u> con <u>varianza desconocida</u> :	
para las velocidades en los cilindros reparados con los productos de WR meadows antes de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	3
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	222.8990803
Media Aritmética (de la muestra) =	4575
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	4.30
Intervalo de Confianza:	
4,021 m/seg. < μ < 5,129 m/seg.	

Figura 5.33, Intervalo de confianza para las velocidades de pulso de los cilindros antes de la reparación con la marca WR Meadows.

IC para la <u>media</u> con <u>varianza desconocida</u> :	
para las velocidades en los cilindros reparados con los productos de Sika después de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	3
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	190.7677471
Media Aritmética (de la muestra) =	4948.333333
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	4.30
Intervalo de Confianza:	
4,474 m/seg. < μ < 5,422 m/seg.	

Figura 5.34, Intervalo de confianza de las velocidades de pulso de los cilindros después de reparados con productos de la marca Sika.

IC para la media con varianza desconocida :	
para las velocidades en los cilindros reparados con los productos de Sonneborn después de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	3
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	156.5279528
Media Aritmética (de la muestra) =	4384
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	4.30
Intervalo de Confianza:	
3,995 m/seg. < μ < 4,773 m/seg.	

Figura 5.35, Intervalo de confianza para las velocidades de pulso de los cilindros después de haber sido reparados con productos de la marca Sonneborn.

IC para la media con varianza desconocida :	
para las velocidades en los cilindros reparados con los productos de WR meadows después de la reparación	
Tamaño de la Muestra (n) =	3
Nivel de confianza (1- α) =	95%
Valor de α =	0.05
Valor de $\alpha/2$ =	0.025
Desviación Estándar (de la muestra) =	197.1251717
Media Aritmética (de la muestra) =	4859.333333
<i>Resultados:</i>	
Valor de $t_{\alpha/2}$:	4.30
Intervalo de Confianza:	
4,370 m/seg. < μ < 5,349 m/seg.	

Figura 5.36, Intervalo de confianza para las velocidades de pulso de los cilindros después de haber sido reparados con productos de la marca WR Meadows.

En la Tabla 5.22 se muestran los intervalos de confianza para las medias de las velocidades de pulso que se obtuvieron de aplicarles la prueba ultrasónica de pulso a los cilindros de concreto antes y después de la reparación, en la misma tabla se presenta la calidad que tiene el concreto de acuerdo con la Tabla 5.29.

Tabla 5.31, calidad del concreto antes y después de la reparación de los cilindros de concreto.

con productos de reparación marca Sika	
media de la velocidad de pulso antes de la reparación	condicion del concreto
IC de entre 4,454 a 5460 m/seg.	entre bueno y excelente
media de la velocidad de pulso después de la reparación	condicion del concreto
IC de entre 4,474 a 5,422 m/seg.	entre bueno y excelente

con productos de reparación marca Sonneborn	
media de la velocidad de pulso antes de la reparación	condicion del concreto
IC de entre 3,947 a 5,460 m/seg.	entre bueno y excelente
media de la velocidad de pulso después de la reparación	condicion del concreto
IC de entre 3,995 a 4,773 m/seg.	entre bueno y excelente

con productos de reparación marca WR meadows	
media de la velocidad de pulso antes de la reparación	condicion del concreto
IC de entre 4,021 a 5,129 m/seg.	entre bueno y excelente
media de la velocidad de pulso después de la reparación	condicion del concreto
IC de entre 4,370 a 5,349 m/seg.	entre bueno y excelente

De la Tabla 5.31, se puede ver que no varían mucho las velocidades antes y después de la reparación de las juntas frías, esto por que el concreto antes de la reparación era continuo, y no existían grietas, sin embargo también podemos ver que en el caso de el producto de sonneborn, en vez de aumentar la velocidad disminuyo, en contraste de las reparaciones con las marcas Sika y WR meadows, es de aquí que podemos decir que la prueba ultrasónica de pulso es un buen método para verificar la calidad de la reparación, ya que las resistencias obtenidas de los cilindros reparados con Sonneborn fueron menores a las esperadas, y estas fallaron en el puente de adherencia.

Capítulo 6

Recomendaciones generales y experiencias recabadas de la muestra de ensayos.

Durante cualquier etapa de vida del concreto se pueden presentar factores que afecten su condición de servicio en la estructura. Para cada tipo de problema que se pueda presentar existen diferentes soluciones y más de un procedimiento de corrección, de entre los cuales se deberá de seleccionar el adecuado, tomando en cuenta el factor técnico y el económico.

Es aconsejable tomar en cuenta los requerimientos básicos para que la estructura sea durable, estos deberán de ser diseñados, especificados y controlados durante la construcción de la obra.

Los estructuristas, los cuales están encargados del diseño, así como de generar las especificaciones de la estructura y del concreto en si, deberán de estar atentos al papel que el concreto juega en todo el proyecto y en las necesidades del dueño. Ellos deben de estar al tanto del ambiente en el cual trabajará el concreto y deberán de evaluar con anticipación el posible comportamiento del concreto para ese ambiente. Estando consciente del ambiente en que se colocará el concreto, el estructurista debe considerar un mínimo de propiedades que el concreto debe cumplir y de esta forma asegurarse de que se diseñará la mezcla adecuada para el concreto.

Una vez que las especificaciones son preparadas y recopiladas, y se utilizaron los métodos constructivos correctos, el concreto tendrá las propiedades que se le han requerido, y resistirá los ambientes para los cuales ha sido diseñado, de esta manera el concreto no tiene por que presentar fallas.

También es de fundamental importancia tener un control de calidad del concreto para asegurarse que obtendremos la durabilidad requerida.

Cuando el concreto se encuentra expuesto a ciertas condiciones ambientales severas que lo podrían dañar, requiere de cierta protección para mantenerse en condiciones de servicio (como las descritas en el capítulo 2). Existen diferentes condiciones de servicio en las cuales el concreto se puede deteriorar, una de las más dañinas es la que incluye soluciones químicas agresivas. Una vez que el concreto ha sido debilitado por el ataque químico, las cargas estructurales que soportan el concreto aceleran el daño que puede sufrir.

6.1 Prevención.

A continuación se mencionan algunos problemas que se podrían tener en el concreto y se proporcionan sugerencias para prevenirlos.

Reducción de contracción.^[19]

- Reducir el contenido de agua mediante el uso de un mayor tamaño máximo de agregado grueso que se aconseje manejar para el caso.
- El concreto deberá de ser curado efectivamente antes de su secado.
- Utilizar la cantidad de agua adecuada, y si se requiere una mezcla de revenimiento bajo utilizar aditivos súper plastificantes.

Control de las grietas por contracción.^[19]

- Eliminar las restricciones externas de movimiento tanto como se pueda, la forma de hacer esto es mediante juntas de contracción ubicadas correctamente.
- La otra forma es suministrando al concreto de acero (antes del colado, concreto reforzado).

Prevención del agrietamiento.

- No se deberán de utilizar mezclas con mucho cemento. El revenimiento deberá ser lo mas bajo posible (entre 7 y 10 cm).
- No se le deberá dar el acabado al concreto cuando éste está sangrando.

Desconchamiento

- Para la prevención del desconchamiento se necesita un concreto de buena calidad y buenas prácticas constructivas. El concreto con aire incluido ha demostrado buena resistencia contra este problema. Para un buen resultado utilice aire incluido de un 5 al 6 % en volumen con tamaño máximo de agregado de 1 ½", y para concreto con tamaño máximo de agregado de ¾" en 6 a 7 %.^[18]

Popouts (desconchamiento superficial sobre agregados)

- La causa principal de éste problema es la presencia de partículas químicamente reactivas cerca de la superficie del concreto. Para reducir este problema se deberá de tener cuidado de no elaborar concreto con agregados reactivos.

Consideraciones para la impermeabilización.

- Se debe asegurar que el concreto tenga un buen sistema de drenaje para evitar estancamientos de agua.
- Suministrar al firme o elemento de concreto con un sistema efectivo de sellado de juntas, y que sean diseñados tanto para el movimiento que el concreto pudiese tener y para soportar el trafico que vaya a tener el concreto.
- Selle la superficie con un sellador para concreto que lo penetre, estos selladores por lo regular son pinturas elastomericas, se deberá

de verificar que este sellador soporte el tráfico al que estará sujeto el concreto.

- Implementar un programa de mantenimiento para el concreto, el cual incluya la inspección periódica, lavado de la superficie, y corrección de los problemas que se vayan presentando.

6.2 Protección.

A continuación se muestran algunos servicios de protección que se le pueden dar al concreto.

Pintar la superficie

Una pintada a la superficie incrementa la resistencia en contra de ataques químicos. El mantenimiento de esta pintura dependerá del ambiente en el cual se encuentre el concreto.

Aplicación de una base de mortero a base de látex

La aplicación de un mortero a base de látex es utilizado como medida de protección en contra de la carbonatación y ataques ácidos.

Impregnación de selladores

Sellar la superficie es un método efectivo para combatir la penetración de contaminación que se pudiese dar en las grietas. Este impregnante llena los poros y se introduce a la superficie del concreto.

6.3 Consideraciones finales

En este punto se hacen las consideraciones y sugerencias de acuerdo a la experiencia que se obtuvo con la experimentación en el capítulo 5, se puede decir que para cada problema podemos encontrar una solución y que mucho dependerá la calidad de la reparación si se tienen en

cuenta las consideraciones que haga el fabricante para aplicar los productos.

Los productos de reparación son caros, es por eso que se tiene que tener mucho cuidado en la selección (de marcas y productos), aplicación y almacenamiento de estos. En la selección, en ocasiones los materiales no dan las cualidades que prometen, si es el caso la reparación no tendría éxito y la compra de estos productos sería un gasto inútil. Para la aplicación de estos productos hay técnicos especializados que con base a su experiencia pudieran garantizar una mejor aplicación de los productos, y una correcta reparación. Se deberá tener cuidado en las consideraciones que hace el fabricante para el almacenamiento de los productos, esto para evitar la pérdida de los mismos, ya que son caros.

La seguridad y satisfacción final del propietario dependerá mucho de un control de calidad sobre todas las actividades involucre la reparación.

Es conveniente realizar ensayos de resistencia, adherencia y durabilidad de los materiales antes de la reparación para verificar que ciertamente nos pueden dar una efectiva reparación. Esto por medio de testigos, pruebas de carga, con métodos no destructivos como el martillo de rebote y el método ultrasónico de pulso, y otros recursos que se tengan disponibles para la evaluación de las reparaciones.

El método ultrasónico de pulso probó ser una buena herramienta para detectar fallas en el concreto y verificar la calidad de la reparación, este método no destructivo requiere de cuidados especiales para su correcta aplicación e interpretación de resultados. Sin embargo una vez que se tiene la habilidad de interpretar los resultados, es una efectiva herramienta en la detección de fallas y la reparación en elementos de concreto.

La experimentación en este trabajo de tesis tuvo alcances limitados, ya que los ensayos con los productos para la reparación no fueron los deseados, sin embargo queda abierta para que en un futuro se pueda extender y comparar con nuevos resultados. Las pruebas no destructivas para la detección de fallas y verificación de la calidad de la reparación continuamente están cambiando y mejorando para dar una mejor idea del alcance necesario para una buena reparación, este es otro punto donde se podría mejorar este trabajo.

Una de las recomendaciones principales de este trabajo, es la de probar los productos de reparación en el laboratorio antes que en campo, pues en ocasiones la composición química de los productos de reparación no es la ideal (causa del fabricante), por lo que no dan las características que de ellos se espera, otra recomendación es la de consultar con los fabricantes que tipo de reparación y productos se requiere, ya que ellos son los profesionales, así evitamos utilizar métodos y productos equivocados.

Y por ultimo, las personas que están encargadas del diseño, construcción y mantenimiento deben de preocuparse por conocer como se deterioran las estructuras, y diseñar (la estructura o ejercicios de mantenimiento) de tal forma que se pueda tener la durabilidad deseada en la obra de la que son responsables.

Capítulo 7

Conclusiones.

Es de gran importancia en la industria de la construcción el entender los defectos que se podrían presentar en los ambientes donde se va a realizar una obra civil. Este trabajo de tesis nos da una idea de cuales son los problemas mas frecuentes que se pueden presentar en una construcción, desde sus etapas de inicio de la construcción, hasta cuando la estructura esta totalmente terminada.

Existe mucha información acerca de como se presentan los defectos, en qué etapas se encuentran, cómo detectarlos y los métodos, y tipos de reparaciones que se les puede dar. Una falla en el concreto se puede presentar en cualquier momento, y es de vital importancia el entender las causas que la originan, y cómo se puede corregir desde el origen y como realizar la reparación en si.

Una vez que se han detectado las fallas en el concreto, se debe de evaluar el estado en que se encuentra el elemento, para de esta forma poder planear una reparación que logre los alcances necesarios para que la estructura siga funcionando. En la detección de fallas uno de los puntos más importantes es la inspección visual, y por supuesto la experiencia que tenga la persona que vaya a realizar y describir esta inspección y las fallas. Las fallas que puede presentar el concreto no siempre son visibles, es por eso que con ayudas de pruebas no destructivas podemos encontrar fallas ocultas en el concreto, en el caso de este trabajo de tesis pudimos constatar que el método ultrasónico de pulso probó ser muy acertado en los resultados que arrojaba, sin embargo es un método que requiere de bastante experiencia para usarlo, ya que un inexperto podría mal interpretar sus resultados.

Ya que se ha detectado las fallas en el concreto y se ha planeado el correctivo que necesita la estructura para que siga funcionando correctamente viene la difícil tarea de escoger el material indicado para la reparación. En el mercado hay diferentes marcas y todas pretenden dar el mismo resultado, los precios varían considerablemente, en el trabajo sólo se utilizaron tres diferentes fabricantes (Sika, Sonneborn y WR Meadows).

De igual forma estos materiales de reparación requieren de manejos especiales. Los manejos especiales pueden variar dependiendo de la base de formulación de los materiales (por lo regular el fabricante nos provee de una ficha técnica la cual nos indica estos cuidados especiales, así como la forma de aplicarlos, fechas de caducidad, etc.). Sin embargo en esta tesis se enumera algunos de los peligros que se tiene al utilizar estos materiales, entre ellos podemos encontrar: el fuego, explosión, reactividad y sanidad.

Ya habiendo detectado la falla, cuáles son sus causas, y qué material podríamos utilizar, vienen las consideraciones para su reparación, este es un punto tan importante como los anteriores, ya que el método de limpieza, remoción y las consideraciones para la reparación serán de mucha importancia en la calidad de la misma. De igual manera se detallan consideraciones importantes para seleccionar el método de preparación indicado para el elemento.

Siempre será bueno (cuando la importancia de la reparación lo amerite) el simular las fallas y repararlas en el laboratorio, para así tener una idea exacta de cómo se comportan los elementos reparados y que características especiales nos dan los materiales de reparación. Los materiales de reparación son caros, y si se considera que el gasto es extra para el dueño de la construcción, la reparación a realizarse deberá ser con gente experimentada y tener extremo cuidado en los alcances que se planeen para la reparación.

El estar checando el estado en que se encuentran los elementos de una estructura urbana es muy importante, ya que el detectar una falla a tiempo podría evitar un gasto mas fuerte. El mantenimiento preventivo es importante también ya que nos permite evitar reparaciones mayores que serian seguramente mas caras.

Como conclusión final creo que uno de los puntos más importantes en el proceso de diseño y construcción de una obra urbana será la comunicación y la ética de las personas que en ella participen. Teniendo un buen equipo de trabajo donde participe gente de campo como de diseño en donde se discutan los posibles problemas que se podrían presentar. La comunicación será muy importante ya que la gente de campo le podrá dar una idea al diseñador de las condiciones a las que estará expuesta la obra. De igual forma, una buena comunicación entre los diseñadores y las personas que estarán encargadas directamente de la construcción. Podría evitar malos vicios de construcción y por consiguiente evitar futuras reparaciones.

Referencias .-

1. B V Rangan and R F Warner. **Large Concrete Buildings**. Bookcraft Ltd. Great Britian 1996.
2. Instituto de Ingeniería UNAM, Daniel Reséndiz Núñez. **Manual de Tecnología del Concreto de la CFE, sección 2**. Limusa. México 1994.
3. Gómez Domínguez Jorge “**EL INGENIERO ESTRUCTURISTA, LOS MATERIALES Y SUS POSIBILIDADES EN EL DISEÑO: UN ENFOQUE EDUCATIVO**” memorias del XII congreso nacional de ingeniería estructural, organizado por la sociedad mexicana de ingeniería estructural, A.C. León, Guanajuato, Noviembre del 2000.
4. ACI 211.1. **Proporciónamiento de Mezclas**, Concreto normal, pesado y masivo, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México 1998.
5. Instituto de Ingeniería UNAM, Daniel Reséndis Núñez. **Manual de Tecnología del Concreto de la CFE, sección 3, Concreto en Estado Endurecido**. Limusa. México 1994.
6. F. R. McMillan y Lucas H. Tuthill. **Cartilla del Concreto**. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México 1998.
7. Norma Mexicana del Concreto, NMX-C-403-ONNCCE-1999.
8. Committee ACI 306. Report 306 R. “**Cold Weather Concreting**”. American concrete Institute. Detroit, Mich. 1988.
9. Paul J. Tikalsky, Bryant Mather, Jan Olek. Concrete Durability. Journal,

10. TED KAY. **Assessment and Renovation of Concrete Structures.** John Wiley & Sons, Inc. New York 1992.
11. A. M. Neville. **Tecnología del Concreto, Tomo II.** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México 1977.
12. Adam Neville and J. J. Brooks. **Tecnología del Concreto, Tomo II.** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México 1977.
13. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese. **Diseño y control de mezclas de concreto.** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México 1998.
14. Engineer Manual, U.S. Army Corps of Engineers. **Evaluation and Repair of Concrete Structures.**
15. Committee ACI 207.3R. **Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions.** American Concrete Institute. Detroit 1980.
16. Sidney Mindess, J. Francis Young. **Concrete.** Plentice Hall. New Jersey 1981.
17. ASTM C507. **Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.** Philadelphia, USA.
18. Noel P. Mailvaganam. **Repair and Protection of concrete Structures.** CRC Press. Boca Raton, Florida 1992.

19. R. T. L. Allen, S. C. Edwards and J. D. N. Shaw. **The Repair of Concrete Structures**. Blackie Academic & Professional, segunda edición. Great Britain 1993.
20. Guillermo Muriel Vallejo. **Aplicación de las resinas epoxicas en la industria de la construcción**. Tesis. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey, 1972.
21. Dr. Ing. Paulo R. Do Lago Helene. **Manual para la Reparación Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto**. Instituto mexicano del cemento y del concreto.
22. "NOM-C-192-1986, **determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro**, norma oficial mexicana.
23. Ferdinand P. Beer, Russell Johnston, Jr. **Mecánica de Materiales**. McGraw Hill, Quinta edición. México 1990.
24. ASTM C642. **Standard test method for Density, Adsorption, and voids in hardened concrete**. Philadelphia, USA.
25. ASTM 348. **standard test method for flexural strength of hydraulic cement mortars**. Philadelphia, USA.
26. ASTM 469. **standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression**. Philadelphia, USA.
27. ASTM 882. **standard test method for bond strength of epoxic-resin systems used with concrete by slant shear**. Philadelphia, USA.

28. National Reseach Council Canada. CBD – 187. **Non Destructive Testing of Concrete**”,.

29. Ronald L. Iman. **A data – based Approach to Statistics, Concise Version**. wadsworth publishing company, 1995.

Apendice A, Protección y reparación del Concreto.

Falla	Objetivo de la prevención o reparación	Técnica de Aplicación	Producto (nombre comercial)
Contracción (prevención)	Retardar el fraguado (inicial y final), reduciendo la contracción por volumen y la tendencia a agrietarse.	La proporción la da el fabricante, el producto es líquido y este se agrega al agua de la mezcla.	Plasticement N (Sika) Festerlith 1500 "R" (fester)
Grietas y fisuras por cambios térmicos (reparación), grietas finas y medianas.	Sellar las cavidades y grietas finas en elementos estructurales impidiendo la infiltración de agua u otras sustancias corrosivas.	Este producto viene en dos componentes, estos se mezclan hasta obtener una mezcla homogénea, la aplicación puede ser por gravedad o por inyección.	Sikadur -52 Inyección (Sika) EpoXine 220 (fester)
Grietas plásticas por contracción (reparación), grietas anchas.	Sellar las cavidades y grietas amplias en elementos estructurales impidiendo la infiltración de agua u otras sustancias corrosivas.	Este producto viene en dos componentes, se combinan y mezclan hasta obtener una mezcla uniforme, se aplica con espátula en la grieta a sellar.	Sikadur -31 Adhesivo (Sika), Festerbond (fester)
Congelamiento y deshielo (prevención)	Acelerar el fraguado inicial e incrementar la resistencia a temprana edad.	La proporción la da el fabricante, el producto es líquido y este se agrega al agua de la mezcla.	Sikament -HE 200 (Sika), Festermix (fester)
Climas costeros (prevención)	Reducir la permeabilidad del concreto, aumentando su durabilidad y resistencia a ambientes agresivos.	Aditivo líquido que se adiciona al agua de la mezcla, proporción dada por el fabricante.	Sika - Aer (Sika), Festaire (fester)
Ataque de sulfatos (prevención)	Reducir la permeabilidad del concreto, aumentando su durabilidad y resistencia a ambientes agresivos.	Aditivo líquido que se adiciona al agua de la mezcla, proporción dada por el fabricante.	Sika - Aer (Sika), Festaire (fester)
Manchas en el concreto (prevención)	Evitar suciedad y manchas en el concreto.	Agua limpia.	utilizar agregados y agua limpia para la mezcla del concreto.
Carbonatación	Reducir la permeabilidad del concreto y aumentar su resistencia a ataques químicos.	Este es un aditivo en polvo en base al humo de sílice, este producto se adiciona de un 5 a un 15 % del peso del cemento de la mezcla	SikaFume (Sika)
Corrosión del acero de refuerzo (prevención)	líquido transparente, incoloro, inhibidor de corrosión del concreto reforzado.	penetra en el concreto por difusión líquida y de vapor hasta formar una monocapa de protección sobre el acero de refuerzo.	Sika FerroGard -903 (Sika)
Corrosión del acero de refuerzo (reparación)	esta reparación tiene como objetivo actuar como una barrera contra la penetración del agua y los cloruros. Y contiene inhibidores de corrosión.	la superficie en donde se aplicara deberá estar limpia, limpiado con chorro de arena, este producto viene en tres componentes, el componente A y B son mezclados, una vez obteniendo esta mezcla se le añadira el componente C, obteniendo una mezcla homogénea. esta se aplicara con brocha a la armadura limpia y sin óxido como revestimiento anticorrosivo.	SikaTop -Armatec 110 EpoCem (Sika)

Centro de Información-Biblioteca



30002006312813