

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**INGENIERÍA CIVIL**



**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**Patología del concreto reforzado tomando como ejemplo el edificio Antigua Nunciatura Apostólica de Managua, en el Barrio Altagracia.**

Autores:

Br. María del Rosario Pérez Lagos.

Br. Giovanny Emmanuel Mejía Urbina.

Tutor: Ing. Bayardo Altamirano.

Asesor: Msc. Ing. Jimmy Vanegas

Managua Septiembre 2014

## INDICE

I.	LISTADO DE FIGURAS.....	1
II.	LISTADO DE TABLAS.....	3
III.	RESUMEN.....	4
1.	INTRODUCCION.....	5
1.1	ASPECTOS GENERALES.....	5
1.2	ANTECEDENTES.....	6
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2.	OBJETIVOS.....	9
2.1	OBJETIVO GENERAL:.....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	9
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	10
3.	MARCO TEÓRICO.....	11
3.1	ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO.....	11
3.1.1	Vigas.....	12
3.1.2	Columnas.....	14
3.1.3	Zapatas.....	15
3.1.4	Losas.....	16
3.2	ESFUERZOS A LOS QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	17
3.3	MATERIALES QUE COMPONEN EL CONCRETO REFORZADO.....	19
3.3.1	Concreto reforzado.....	19
3.3.2	Cemento.....	22
3.3.3	Áridos.....	23
3.3.4	El acero de refuerzo.....	24
3.4	PATOLOGÍA DEL CONCRETO REFORZADO.....	25
3.4.1	Generalidades.....	26
3.4.2	Proceso del estudio patológico.....	26
3.4.3	Síntomas del proceso patológico.....	27
3.4.4	Mecanismo de las fallas.....	28
3.4.5	Origen de las lesiones.....	30

3.4.6	Identificación de las lesiones. ....	31
3.4.7	Causa de las alteraciones.....	32
3.4.8	Corrosión .....	46
3.4.9	Efectos de ciclos térmicos o ciclos de mojado-secado. ....	49
3.4.10	Acciones que generan desintegración del concreto. ....	49
3.4.11	Análisis de los daños.....	55
3.4.12	Grietas.....	56
3.4.13	Acciones inducidas.....	60
3.5	CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	62
4.	TRATAMIENTO Y RESTAURACIÓN. ....	65
4.1	REPARACIÓN DEL CONCRETO CARBONATADO.....	66
4.2	REHABILITACIÓN .....	67
4.2.1	Sellado.....	70
4.2.2	Inyección.....	70
4.2.3	Mortero de reparación .....	71
4.2.4	Sistema húmedo .....	74
5.	PRUEBAS Y ENSAYOS .....	75
5.1	PRUEBAS PARA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO: .....	75
5.2	ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO:.....	77
6.	ESQUEMA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	81
6.1	INSPECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DEL SITIO .....	81
6.2	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN SEGÚN RNC-07 PARA SISMOS .....	83
6.2.1	Calculo de aceleración sísmica según RNC-07.....	84
6.2.2	Calculo de cargas de servicio.....	90
6.2.3	Calculo de presiones de viento.....	91
6.3	DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA.....	100
6.4	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EL MÉTODO DEL ESCLERÓMETRO. ....	105
6.4.1	Equipo .....	105
6.5	ENSAYO CON FENOLFTALEÍNA .....	109
7.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE EL SOFTWARE (ETABS)....	112

8.	PROPUESTA DE INTERVENCION .....	120
8.1	PROPUESTA DE REFUERZO EN VIGAS Y LOSAS. ....	121
8.2	INSTALACION DE LA FIBRA DE CARBONO.....	125
8.3	USOS DE LA FIBRA DE CARBONO .....	125
9.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACION .....	127
10.	CONCLUSIONES.....	129
11.	RECOMENDACIONES .....	130
12.	BIBLIOGRAFIA.....	131
13.	ANEXOS.....	133
	ANEEXO II .....	135
	ANEXOS III .....	140
	ANEXOS IV.....	144

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a Dios por todas sus bendiciones, por darme la vida al Lado de personas llenas de amor y de fe.

A mis padres Eliseo Pérez Bravo y Gloria Lagos Montiel, a quien les agradezco los esfuerzos por sacarme adelante, por sus innumerables consejos y ejemplos.

A mi tía, Rosario Lagos Montiel por sus innumerables oraciones para que todo nos saliera bien encomendándonos al señor.

Al igual que a todos aquellos amigos que me apoyaron durante el transcurso de la carrera y me brindaron su amistad.

Br. María del ROSARIO Pérez.

## **Dedicatoria**

Dedico esta monografía a Dios padre todo poderoso, por haberme colmado de bendiciones, poniendo en mi vida más de lo que merezco, por guiarme con sabiduría en este camino del cual hoy finaliza una etapa.

A mi madre Santísima por sus constantes interacciones que con su amor de madre ha rogado a Dios por mi y por mis seres queridos.

A mis padres Pedro Mejía y Virgenza Urbina, por su apoyo y esfuerzos quienes son los merecedores de mis logros, por inculcar valores morales y educación, quienes han sido el mejor regalo de Dios.

A mi tía Rosa Ortiz quien me abrió las puertas de su casa y me vio como un hijo, me brindo todo su apoyo y cariño durante mi carrera.

A mi novia y compañera Rosario Pérez quien ha sido sostén y apoyo durante este largo periodo.

A mis amigos y Profesores quien han estado a mi lado en este trayecto haciéndolo mas llevadero.

Br. Giovanny Emmanuel Mejía Urbina.

## **Agradecimientos**

A Dios por ser el omnipotente creador de todo cuanto existe, quien con su infinita misericordia nos ha permitido llegar hasta aquí, brindándonos la fortaleza para mantenernos firmes durante nuestro largo caminar.

A nuestros padres por ser las personas que más nos aman, quienes con su amor y paciencia nos han apoyado en todos los momentos más importantes de nuestras vidas.

Al profesor Bayardo Altamirano por su inigualable enseñanza y de un modo muy especial al Ing. Yimi Vanegas por sus consejos e inigualable asesoría en el transcurso de este trabajo.

Al CIGEO por el apoyo y amabilidad en la asesoría que nos brindaron en especial al ingeniero Horacio Ulloa.

A Caritas de Nicaragua por brindar el apoyo y información necesaria para el inicio de esta investigación.

Al CIRA en especial a la Ing. Deby Valeska por brindarnos su ayuda en esta monografía.

A nuestros compañeros de clases en especial a: Ing. Derling Torres, Ing. Oswaldo Balmaceda, Ing. Jerald Cordero, Ing. Cinthia Lanzas, Ing. Ezeiza Norori, Ing. Francisco Cuendiz, Br. Víctor Vargas, Br. Brenda Bellorin, Br. Milton Vásquez, etc.

**I. LISTADO DE FIGURAS.**

Figura 1 Distribución relativa de la incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de concreto	29
Figura 2 Célula de corrosión electroquímica en el hormigón armado.	29
Figura 3 Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de producción y uso de las obras civiles.	31
Figura 4 Grietas y fisuras en elementos estructurales	39
Figura 5. Mecánicas causadas por el hombre en la estructura.	41
Figura 6 Eflorescencia en viga de entrepiso Antigua Nunciatura Apostólica.	44
Figura 7 Proceso avanzado de corrosión en el acero de la estructura.	46
Figura 8 Prueba de Fenolftaleína para determinar el frente de carbonatación	48
Figura 9 Alteraciones producidas en adherencia concreto acero.	53
Figura 10 Daño producido en la estructura de un edificio.	54
Figura 11 Fisuras en columnas y paredes interiores producidas por los asentamientos de una de sus columnas.	61
Figura 12 Ubicación de la Nunciatura Apostólica.	81
Figura 13 Fotografía Aérea del sitio	82
Figura 14 Mapa de zonificación sísmica de Nicaragua (RNC07). Fuente: Reglamento nacional de la construcción, 2007 (p.)	85
Figura 15 Mapa de Isoaceleraciones	86
Figura 16 Espectro de diseño según RNC-07	88
Figura 17 Espectro de respuesta para suelo tipo III.	89
Figura 18 Vista de la elevación de una de las fachadas de la antigua nunciatura apostólica, donde se aprecia poco sensible a las ráfagas de viento.	92
. Figura 19 Clasificación de las rugosidades según el área.	94
Figura 20 Zonas para identificar el valor de la velocidad regional	94
Figura 21 Levantamiento topográfico	101
Figura 22 Desprendimiento del acero de refuerzo y de concreto	102
Figura 23 Grieta típica de los movimientos de una estructura durante un sismo.	103
Figura 24 Estructura en la actualidad a) Grieta por cortante en columna superior b) desprendimiento de recubrimiento por corrosión.	104
Figura 25 ensayo con esclerómetro	105
Figura 26 Materiales para el ensayo con el compuesto Fenolftaleína.	109
Figura 27 Ensayo con Fenolftaleína	110
Figura 28 Ensayo con fenolftaleína en muro.	111
Figura 29 ingreso de las propiedades de los materiales	113
Figura 30 Secciones	113



Figura 31 Vista en planta de la distribución de elementos estructurales en entrepiso.	114
Figura 32 Momentos sobre losa de entrepiso.	115
Figura 33 Espectro de respuesta	116
Figura 34 Momento máximo en vigas	117
Figura 35 Momento máximo en columnas	118
Figura 36 Viga con el momento máximo.	118
Figura 37 Sección de 15x30	120
Figura 38 Sección de 30x30	120
Figura 39 Descascaramientos en losa de entrepiso	140
Figura 40 Exposición de refuerzo longitudinal	140
Figura 41 falta de alineamiento	141
Figura 42 prueba con esclerómetro para obtener la resistencia a compresión de los elementos	141
Figura 43 Columna de primer nivel que fue aplicada sin agregar refuerzo	142
Figura 44 Vista de la entrada principal	142
Figura 45 Levantamiento de los elementos estructurales	142
Figura 46 Vista de la parte trasera de la estructura	143
Figura 47 Fenolftaleína al 1% disuelta en alcohol.	143

**II. LISTADO DE TABLAS.**

Tabla 1 relación máxima agua cemento.	21
Tabla 2 Diámetros área y perímetro de las varillas de refuerzo .	24
Tabla 3 (tabla N°2 Art. 25 RNC-07).	87
Tabla 4 Resumen de datos para generar el espectro de diseño.	89
Tabla 5 carga viva de servicio por metro cuadrado. (RNC-07 Arto.10, Tabla1).	90
Tabla 6 Cargas muertas.	90
Tabla 7 Cargas vivas de techo. (RNC-07 Arto.10, Tabla1)	91
Tabla 8 Cargas vivas de techo. (RNC-07 Arto.10, Tabla1)	91
Tabla 9 periodos de retorno según la zona.	95
Tabla 10 Factor correctivo por topografía.	96
Tabla 11 cuantificación del peso de la construcción.	99
Tabla 12 Calculo de fuerza sísmica.	100
Tabla 13 valores de resistencia para columnas obtenidas por medio de esclerómetro (2º nivel).	106
Tabla 14 valores de resistencia para columnas obtenidas por medio de esclerómetro (1º nivel).	107
Tabla 15 valores de resistencia para losa de entrepiso.	107
Tabla 16 valores de resistencia en paredes.	108
Tabla 17 calculo de momento nominal	123

### **III. RESUMEN**

Esta investigación trata de plasmar los problemas patológicos que puede llegar a encontrarse en estructuras de concreto reforzado, como lo es el edificio de la antigua Nunciatura Apostólica de Managua, las causas de los problemas y soluciones de los mismos son un poco complejas definirlos, si no se cuenta con la información adecuada.

La información con la que se cuenta es con la de un informe elaborado por la empresa Walter Gómez B. & Asociados, Ingenieros consultores quienes al parecer fueron contratados para realizar un diagnostico estructural por parte de los propietarios de la edificación.

## **1. INTRODUCCION**

### **1.1 ASPECTOS GENERALES**

El antiguo edificio de la antigua Nunciatura Apostólica de Managua, se encuentra localizado en la ciudad de Managua en el barrio Altagracia, se cree fue construido en el 1940 y 1945 aproximadamente. Desde sus inicios sirvió como casa de habitación del Nuncio apostólico, representante del vaticano en nuestro país.

En el año de 1972, con el terremoto que se dio, se vio obligado a clausurar ya que hubo colapso de varias paredes durante el movimiento telúrico, además se presencio la aparición de grietas y fisuras tanto en paredes como en algunas columnas, lo que llevo a la decisión parcial y total de la clausura del edificio trasladando la nueva cede en carretera sur, y dejando el antiguo edificio en el abandono total hasta la actualidad.

Tomando en cuenta el valor histórico y cultural del antiguo edificio de la Nunciatura Apostólica en Managua, el presente estudio se enfoca en realizar una evaluación que permita identificar los problemas patológicos que han dañado la estructura y un análisis minucioso de las mismas que permitan evaluar las propuestas para recuperar la capacidad de servicio de la estructura.

Dado que la Nunciatura Apostólica ha trasladado sus instalaciones. Se realiza una propuesta de intervención del antiguo edificio que permita prestar servicio para un museo. De esta manera se podrá preservar una obra civil de valor histórico y cultural para la ciudad de Managua, la cual será de gran utilidad para diferentes instituciones (Alcaldía, Ministerio de Educación, entre otros).

## **1.2 ANTECEDENTES**

A lo largo de su historia el antiguo edificio de la Antigua Nunciatura Apostólica, ha despertado el interés de diversas instituciones para rehabilitar las instalaciones de manera que pueda seguir prestando servicio. Sin embargo ninguno de los estudios se llegó a concretar en la realización de ninguna de las obras de reparación, mantenimiento o demolición.

En Octubre del 2006 surgió una iniciativa por parte de Caritas Nicaragua actualmente dueños del edificio, de realizar un estudio con el fin de recuperar la estructura del edificio, con ayuda de la empresa WALTER GOMEZ B. & ASOCIADOS S.A. También la Alcaldía Municipal se vio interesada en la recuperación de dicha estructura, en su proyecto de rehabilitar los antiguos edificios de la vieja Managua.

El proyecto consistía en hacer una análisis estructural del edificio, para verificar su estado, se realizó una revisión general de los puntos que ellos consideraban los más afectados, junto con un levantamiento total del edificio y estudios de suelo encontrado diversos problemas entre los cuales tenemos: las paredes agrietadas en su mayoría, cuyos daños fueron originados por el terremoto del 23 de Diciembre de 1972, actualmente la comunicación entre muchos de los diferentes ambientes de la construcción han sido clausurada, presentándose ambientes independientes que sirven de bodega a COPROSA. La mayoría de las ventanas y puertas exteriores han sido selladas, probablemente para proteger la construcción del pillaje, la cubierta de techo y la respectiva estructura soporte, no existen.

En resumen el antiguo edificio construido entre los años 1940 y 1945 diseñado con especificaciones que no cumplen con las exigencias actuales, no obstante de las evaluaciones se determinó que la estructura es recuperable por lo que en los alcances general se presentan los siguientes:

- ❖ Levantamiento físico de las actuales instalaciones.
- ❖ Revisión y cálculo estructural.

- ❖ Nuevo diseño de interiores y exteriores en patios.
- ❖ Diseño eléctrico.
- ❖ Diseño Hidrosanitarios.
- ❖ Juego completo de planos constructivos.
- ❖ Demolición de acuerdo a planos y diseños estructurales.
- ❖ Reparaciones estructurales de acuerdo a estudios.
- ❖ Reparación y recuperación arquitectónica de acuerdo a datos históricos.
- ❖ Remodelación de interiores de acuerdo a diseño.
- ❖ Construcción en general de acuerdo a planos arquitectónicos para la recuperación del antiguo edificio.
- ❖ Reparación de Vigas, columnas, losas y paredes donde lo amerite, así como la eliminación de varillas de refuerzos corroídas sustiyendolas por nuevas en algunos casos.
- ❖ Reparación de Fisuras con los aditivos necesarios.

Dicha propuesta no fueron aceptadas por la Alcaldía de Managua por los altos costos que generaban, dejando a un lado el proyecto de rehabilitación, proyecto que aun quiere realizar Caritas de Nicaragua.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Antigua Nunciatura Apostólica que se encuentra ubicada en el barrio Altagracia y a simple vista puede notarse la belleza de la edificación por sus conjuntos arquitectónicos antiguos. Esta estructura actualmente está brindando servicios de bodegas.

Es una estructura que ha soportado muchos eventos naturales durante su vida útil y al parecer no ha sufrido ningún daño tan severo como para causar la demolición de esta por parte de las autoridades quienes por el contrario han mostrado el interés de restaurarla.

El techo es inexistente lo que lleva a que la losa y los elementos estructurales así como los cerramientos del segundo nivel se vean expuestos a la intemperie y a todos los agentes nocivos que provocan deterioro de la estructura.

No obstante el deterioro y los desgastes de la edificación, es conveniente realizar un estudio antes de proceder a tomar alguna decisión en cuanto a la restauración en caso de contar con los recursos para iniciarla, puesto que para erradicar un problema patológico se debe tener claro la causa de este.

Debe verificarse los estados de cargas actuales realizar un levantamiento topográfico que permita conocer las dimensiones de los elementos estructurales y el estado de estos, conocer su resistencia para proceder a evaluar la estructura, según los requerimientos de el reglamento nacional de la construcción vigente.

Por otro lado a pesar de los daños existentes sería de gran utilidad la restauración para la preservación de los edificios religiosos históricos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Patología del concreto reforzado, realizar una evaluación del estado actual del edificio Antigua Nunciatura Apostólica de Managua, y proponer las soluciones de intervención que permitan recuperar las condiciones de servicio.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Realizar una inspección del sitio donde pueda identificarse los daños que ha sufrido la estructura y evaluar la severidad de estos.
- Evaluar la resistencia de los elementos estructurales mediante la realización de pruebas no destructivas.
- Realizar un análisis dinámico de la estructura mediante un software, tomando en cuenta las condiciones de servicio.
- Identificar los principales agentes causantes del deterioro de la estructura.
- Proponer soluciones o tratamientos preventivos y correctivos a las lesiones, para evitar mayor deterioro de las estructuras.



## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Después del terremoto de 1972, la ciudad de Managua termino en ruinas la mayor parte de la ciudad fue destruida, pocos edificios quedaron en pie muchos fueron deshabitados y la población se alejo de lo la zona central de la ciudad provocando un crecimiento urbano desorganizado.

Algunas estructuras quedaron en pie y poco a poco se han ido deteriorando. Con el paso del tiempo, algunas fueron habitadas por personas de escasos recursos y en los últimos meses al verse envuelta Managua en una serie de sismos que sacudieron la ciudad obligaron a las autoridades a destruir estos edificios antiguos puesto que existían personas que corrían el riesgo de enfrentarse al colapso de las estructuras.

La intensidad sísmica que soporta la capital, ha llevado a la destrucción de la mayoría de las edificaciones antiguas de la ciudad que eran de gran atractivo para los turistas, daban realce a la ciudad y llevaban plasmadas en ellas la historia de de la misma.

En la actualidad la Antigua Nunciatura Apostólica durante su vida útil brindo servicio de local para el Nuncio Apostólico en Nicaragua, es una estructura abandonada pero no olvidada y aunque se encuentra inhabitada, aun presta los servicios de bodega a la empresa COPROSA, las autoridades pastorales y comunitarias se han visto en el interés de restaurarlas enfrentándose con obstáculos económicos que lo han impedido.

Considerando la notoria importancia de rescatar los pocos edificios en pie de la antigua Managua y estructuras religiosas es que se tomo la iniciativa de realizar un estudio patológico, en donde se establezca la capacidad de la estructura ante las actuales condiciones de cargas y por medio de este definir las medidas a tomar, en la restauración.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO.**

##### **Estructuras de concreto**

Se entiende por acciones a una estructura, a las solicitaciones que puede estar expuesta, entre las que se encuentran las de peso propio, cargas vivas, presiones por vientos y las aceleraciones producidas por sismos, también se incluyen los asentamientos que en algunas ocasiones causan el asentamiento de las edificaciones. Estas fuerzas producen deterioro en los elementos, mientras las respuestas estructurales ante estas acciones dependen de las características de la estructura.

Para conocer las reacciones de una estructura ante las solicitaciones que puedan estar expuestas durante su vida útil, se necesita determinar las relaciones acción-respuesta para que al estar en funcionamiento en su periodo de servicio el comportamiento sea aceptable y no ponga en peligro la vida de seres humanos. En todo esto el problema radica en las combinaciones de carga, ya que estas pueden ser innumerables por lo que es necesario estudiar las reacciones internas de cada elemento.

Aunque no siempre es necesario obtener las reacciones internas de cada elemento, pues en los últimos años se ha desarrollado otro sistema para analizar el comportamiento de la estructura a las solicitaciones y condiciones que probablemente estará expuesto, este método se trata de someter un modelo a escala a velocidades altas de vientos para ponerla a prueba y saber si responderá de forma adecuada ante un huracán o un sismo.

De esta forma pueden mejorar el diseño y hacer cambios en este, para aceptarlo debe ser capaz de resistir cargas un poco mayores a las de servicio. Así se obtiene un factor de seguridad comparando el valor máximo obtenido con el valor bajo condiciones de servicio de esta forma se debe garantizar que la estructura cumpla con un valor razonable de factor de seguridad, valores que son definidos por las normas constructivas de cada país.

Aunque en el caso de las estructuras de concreto reforzado, existe la incertidumbre de la discrepancia entre las propiedades de los materiales que lo componen y las especificadas en el diseño, ya que puede tenerse un diseño adecuado el cual cumpla con las normas y especificaciones técnicas de diseño, pero al depender de las propiedades de los materiales se corre el riesgo de fabricación, colocación, curado que lleven al incumplimiento de la respuesta estructural ante las cargas de servicio.

Los esfuerzos son las acciones ejercidas, mientras las deformaciones son las respuestas a estas acciones,

La resistencia del concreto aumenta con el paso del tiempo, incremento que depende del curado a través del tiempo (incluyendo el intercambio de agua con el ambiente), el incremento hasta antes de los primeros 3 meses es considerable, después de esto se producen incrementos relativamente pequeño.

### 3.1.1 Vigas

#### **Simplemente reforzadas.**

La función de las vigas principalmente es soportar las cargas generadas por los cerramientos, cargas muertas y vivas y transmitirlas a las columnas, su sección transversal es de forma rectangular. Son llamadas vigas simplemente armadas cuando el único refuerzo se encuentra en la parte inferior del elemento con la finalidad de soportar los esfuerzos de tensión producidos por la flexión.

Las vigas pueden clasificarse según la cantidad de acero en vigas simplemente armadas, y vigas doblemente reforzadas, y según la forma en vigas rectangulares y vigas T.

Según el porcentaje de acero las vigas son llamadas:

- Vigas sub reforzadas
- Vigas sobre reforzadas
- Vigas balanceadas

Las primeras son llamadas así por la cantidad reducida de acero, en estas las fallas ocurren cuando el límite elástico del acero aparece sin que el concreto llegue aun a la fatiga de ruptura  $0.85F'c$ .

Las fallas ocurren lentamente por lo que antes de colapsar estas se evidencian por grandes deflexiones y grietas, lo cual anuncia de forma anticipada el colapso.

Mientras que las vigas sobre reforzadas el concreto alcanza su límite mientras el acero no ha alcanzado el punto de fatiga, fallan por compresión este tipo de falla es repentina y casi sin anuncio lo que es una desventaja

En las vigas balanceadas el acero y el concreto fallan en el mismo momento y son peligrosas por la probabilidad de falla a compresión.

Para establecer una cantidad de acero adecuada el reglamento ACI 318-04 establece el porcentaje de acero como un 75% del valor correspondiente a las secciones balanceadas. Aunque las vigas con porcentaje muy reducidos de acero pueden colapsar súbitamente al igual que las reforzadas y balanceadas para evitar esto el reglamento ACI 318-04 establece los porcentajes mínimo y máximo de acero para miembros sujetos a tensión:

$$\rho_{\min} = \frac{14.5}{f_y} \quad \rho_{\max} = \omega \frac{f'_c}{f_y} \quad (1)$$

### Vigas doblemente reforzadas

Como su nombre lo indica este tipo de viga esta reforzada tanto en la parte inferior como en la superior (en la zona de tensión y compresión), son necesarias cuando existen limitaciones en el centro del claro o porque esta no es capaz de soportar el momento negativo del apoyo, aun con el aumento en la zona de tensión.

Este diseño prolonga las carillas para un anclaje apropiado para que actúen como refuerzo a compresión y reforzar adecuadamente la cara a tensión de la viga en el apoyo.

### Vigas T

Se utiliza en sistemas de pisos o entrepisos, son coladas monolíticamente con las losas de ahí obtiene su forma de T. Este tipo de vigas están formadas por dos partes, primero el patín que es la sección de la viga que forma parte de losa y después el nervio o nervadura es el alma de la viga.

Las cargas recaen sobre estas vigas generando esfuerzos de compresión que son máximos en el eje de simetría y disminuyen a medida que se alejan de este. Es difícil determinar con exactitud el ancho del patín pero el ACI 318-08 establece no deberá ser mayor de  $\frac{1}{4}$  de la longitud de la viga, ni mayor de 8 veces el peralte de la losa en voladizo a cada lado del alma y no puede ser mayor que la separación entre nervaduras.

También establece para vigas que tengan losa solamente a un lado el ancho sobresaliente efectivo del ala no debe exceder:

- $\frac{1}{12}$  de la luz de la viga
- 6 veces el espesor de la losa
- La mitad de la distancia libre a la siguiente alma.

#### 3.1.2 Columnas.

Una columna, es un elemento axial sometido a compresión lo bastante delgado respecto a su longitud, para que bajo la acción de una carga normalmente creciente se rompa por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menos que la necesaria para romperlo por aplastamiento.

Las columnas suelen dividirse en dos grupos: "Largas e Intermedias". A veces, los elementos cortos a compresión se consideran como un tercer grupo de columnas.

La diferencia entre los tres grupos vienen determinadas por su comportamiento, las columnas largas se rompen por pandeo o flexión lateral, las columnas intermedias por combinación de esfuerzos; aplastamiento y pandeo y los elementos cortos por aplastamientos.

### 3.1.3 Zapatas.

Las zapatas, es un tipo de cimentación que puede ser utilizada en terrenos normalmente homogéneos y de resistencias a compresiones medias o altas; que permite transmitir las cargas que soporta una estructura al suelo subyacentes de modo que no rebase la capacidad de carga del suelo y que las deformaciones producidas por esta sean admisible para la estructura, consiste en un ancho prisma de Concreto situado bajo los pilares de la estructura, aunque este deberá cumplir ciertos requisitos entre los que se encuentra: el nivel de cimentación deberá estar profundizado de forma que se encuentre libre de heladas, cambio de volumen del suelo, capa freática, excavaciones posteriores, deberá tener dimensiones que no superen la estabilidad o capacidad de carga del suelo, y no deberá producir un asiento en el terreno que no sea absorbible por la estructura.

Existen varios tipos de zapatas en función de que si servirán de apoyo a uno o varios pilares o bien sean a muros, cuando no es posible emplear zapatas se debe recurrir a cimentación por pilotaje o losas de cimentación.

#### Clasificación de las Zapatas

Por su forma de trabajar se clasifican en:

- Aisladas
- Combinada
- Continua bajo pilares.
- Continua bajo muros.
- Arriostradas.

Por su morfología:

- Macizas
  - Rectas.
  - Escalonadas.
  - Piramidales.
- Aligeradas
  - Rígidas: en las que el vuelo es menor o igual a dos veces el canto.

- Flexibles: En las que el vuelo es mayor a dos veces el canto.

Por la forma:

Rectangulares, cuadradas, circulares y poligonales.

Zapata aislada: Son un tipo de cimentación que sirve de base en elementos estructurales puntales tales como los pilares, de modo que esta zapata amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que transmite, estas van con riostras de hormigón en masa es decir sin armar, si las mismas tienen un canto considerable (son las denominadas Zapatas macizas).

Zapata combinada: Son aquellas fundaciones que soportan más de una columna. Se opta por esta solución cuando al calcular el área de la zapata para suplir los esfuerzos admisibles sobre el suelo nos da que sus áreas se montan, otro ejemplo en el que se puede usar este tipo de cimiento es que una de las columnas sea mediana y se quiera amarrar como viga de fundación, otro de los casos en los que se trabaja la zapata combinadas es cuando soportan columna, se puede dar el esfuerzo admisible es pequeño y se requiera un gran área de fundación.

Zapatas arriostradas:

Este tipo de zapatas están unidas entre sí por vigas riostradas para dar mayor rigidez al conjunto en suelos mediocres, o cuando hay acciones horizontales.

### 3.1.4 Losas.

En edificaciones verticales son los entrepisos, las que van apoyadas sobre vigas o muros, en las cuales las acciones principales son las cargas normales a su plano, estas pueden ser macizas o aligeradas.

Permanentemente se encuentran sometidas a flexión y tensión, las deformaciones en las losas se muestra a través de agrietamientos que inician en el centro de la misma.

Según su apoyo se clasifican en:

- Losa en dos direcciones
- Placa plana
- Losa plana
- Losa reticular

### 3.2 ESFUERZOS A LOS QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

#### Flexión simple

La flexión actúa junto con la fuerza cortante, aunque para calcular la resistencia a flexión puede despreciarse el efecto de la segunda ya que esto da suficiente precisión para poder estimar la resistencia.

Los esfuerzos de flexión actúan en forma perpendicular a la dirección del elemento y generalmente la zona sometida a este esfuerzo se localiza en el centro del elemento, cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del concreto a la tensión inicia la aparición de las grietas en la parte inferior de la viga, estas aumentan de tamaño cuando la carga se incrementa y se evidencian en mayor cantidad longitud y abertura.

#### Flexión y carga axial.

De manera general la carga y el momento flexionante varían de forma independiente aunque no es así en todas las estructuras pues al variar las condiciones de carga externa. La carga y el momento varían en la misma proporción por lo que la excentricidad puede o no ser constante.

Principalmente existen dos formas de falla para elementos sometidos a flexo-compresión, falla por tensión y falla por compresión, esta última se da por aplastamiento y el acero del lado comprimido fluye, mientras las fallas por tensión el acero fluye en tensión antes del aplastamiento en el lado opuesto.



### **Cortante en vigas.**

Las fuerzas cortantes, son producto de las cargas externas el diseño por cortante para elementos de concreto, es importante debido a la baja resistencia a tensión del material en comparación con su resistencia a la compresión. Las grietas producidas por el cortante en las vigas de concreto reforzados son mayores (amplias) en comparación con las producidas por la flexión, además de provocar una falla repentina.

Deben procurarse diseños en los cuales las fallas se produzcan antes cargas últimas o mejor dicho que fallen en forma dúctil, elementos capaces de soportar las cargas transversales externas.

Los esfuerzos cortantes son mayores en los apoyos y se reducen a medida que se alejan de estos, los refuerzos en el concreto para resistir esfuerzos a cortantes principalmente tratan de evitar la formación de grietas a  $45^\circ$ , pues la formación de la grieta puede ser interceptada por las barras de refuerzo.

Por estas razones la separación entre estribos es menor en las zonas cercanas a los apoyos. Las normas ACI 318-08 establecen las separaciones de estribos.

### **Torsión.**

La torsión, es otra de las acciones que influyen sobre las vigas por su carácter monolítico, estas acciones no se presentan solas pues están acompañadas por flexión fuerza cortante y fuerza nominal.

Aunque los efectos de la torsión muchas veces son despreciables en comparación con otras acciones, en ocasiones esta es más dominante que las otras o al menos ser lo suficientemente importante como para no tomarla a la ligera.

Para el análisis de la torsión existen dos problemas fundamentales, puesto que es complicado determinar los momentos torcionantes y de igual manera es complejo determinar la resistencia de los elementos. El primer problema es de análisis estructural que simplemente no ha sido estudiado a profundidad pues se ha dado más importancia a los cálculos de otros momentos además de que no se disponía

de los medios para calcular la rigidez torcionantes de los elementos de concreto. Pero después de muchas investigaciones se ha podido profundizar en el estudio de la resistencia a torsión y a combinaciones de torsión.

Las vigas con efectos importantes de torsión son:

- Vigas que soportan marquesinas.
- Vigas colocadas con muros excéntricos.
- Vigas de borde en sistema de piso.
- Vigas curvas.

### 3.3 MATERIALES QUE COMPONEN EL CONCRETO REFORZADO.

#### 3.3.1 Concreto reforzado.

Está compuesto por un conjunto de elementos de los cuales se consideran activos el agua y el cemento, mientras la arena y grava son materiales inertes, y son calificados como perjudiciales los huecos y las impurezas. De todos estos elementos dependerá la calidad final del material. Las impurezas son contenidas en mayor parte por la arena y pueden ser materia orgánica, arcilla etc. Estas junto con los huecos pueden afectar la calidad del concreto y aunque un buen vibrado reduce el número de huecos, al evaporarse el agua este espacio queda libre y puede servir para que los agentes se abran paso a través de los poros con el constante riesgo de la formación de grietas.

La mezcla de arena cemento y agua es llamada concreto mientras que la mezcla de agua y cemento es conocida como lechada, es importante para el concreto la unión y distribución correcta de todos los elementos que lo conforman ya que la lechada forma una pasta que cubre los elementos áridos y estos a su vez deben estar distribuidos de manera que la mezcla de ellos sea uniforme y los espacios entre agregados deben ser cubiertos por la lechada.

La función fundamental del concreto es la de soportar las cargas a la que será sometido durante su vida útil incluyendo su peso propio. El esfuerzo es una

medida de la acción que se ejerce sobre el elemento y la deformación es la medida de respuesta ante las sollicitaciones.

Un buen concreto debe cumplir con las siguientes características: buena plasticidad, buena trabajabilidad, bajo contenido de agua, durabilidad y alta resistencia.

El concreto tiene poca resistencia a la tracción, es por esto que es reforzado con acero, con el fin de formar un material íntegro y absorber los esfuerzos de tracción aunque no dejan de presentarse grietas. Además es necesario el control permanente de calidad ya que las operaciones de mezclado pueden influir en la aparición de daños.

Con el tiempo incrementan las deflexiones en los elementos por el soporte de cargas sostenidas aunque una de las ventajas en el tiempo que es que no necesita mucho mantenimiento.

Cada uno de los pasos en la elaboración del concreto es fundamental e influye en su resistencia desde la selección de los materiales, su colocación, vibrado hasta su curado aunque además existen otros factores que afectan la resistencia como la temperatura, el ambiente, etc.

Es necesario capacitar al personal que realizara la mezcla y colocación del concreto, además de asegurar una constante supervisión de los mismos, para asegurar se cumpla con los procedimientos adecuados y reducir las variables que merman la resistencia.

Puede aceptarse un peso volumétrico para el concreto de  $1500\text{Kg/m}^3$  aunque el peso volumétrico del concreto común de acuerdo con la densidad de los agregados y puede estimarse valores entre 2200 y 2500 Kg/m.

Para la elaboración del concreto debe tenerse cuidado, pues cada elemento de forma separada puede influir de forma negativa en la resistencia y durabilidad del mismo.

Según el reglamento ACI 318-71 la relación máxima agua/cemento<sup>1</sup> permisible será:

**Tabla 1 Relación máxima agua cemento**

Resistencia a la compresión especificada, $f_c'$ Kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua/cemento máxima permisible			
	Concreto sin incluir el aire		Concreto con inductor de aire	
	Relación absoluta, por peso	Litros por saco de cemento de 50kg	Relación absoluta por peso	Litros por saco de cemento de 50kg
175	0.65	32.4	0.54	27.0
210	0.58	29.3	0.46	23.0
245	0.51	25.7	0.40	20.0
280	0.44	22.2	0.35	17.7
315	0.38	19.1	0.30	15.1
350	0.31	15.5	**	**

Fuente: Reglamento de la Construcción de Concreto Reforzado (1971) D.F. México, Unión Grafica S.A.(p.37)

Nótese que al disminuir la relación agua cemento, incrementa la resistencia aunque mayor cantidad de agua indica mayor fluidez y una mejor trabajabilidad de la mezcla, es por eso que muchos maestros de obra aumentan la cantidad de agua para facilitar su uso sin embargo es dejado atrás el hecho, de que con esto está afectando la resistencia del concreto, sobre esto puede decirse que en la actualidad existen elementos agregados a los elementos tradicionales que forman el concreto, los cuales pueden reducir la cantidad de agua aumentando la resistencia; como los naftalenos sulfatados de sodio y calcio que integran los aditivos.

El tiempo de fraguado es el tiempo en que tarda la mezcla en pasar de un estado líquido a un estado sólido. El tiempo de fraguado inicial oscila entre los 40 y 60

<sup>1</sup> Reglamento de la Construcción de Concreto Reforzado (1971)D.F. México, Unión Grafica S.A.(p.37)

min mientras el fraguado final se da alrededor de 10 horas después de vertido el concreto.

### 3.3.2 Cemento.

El cemento es un conglomerante hidráulico que al ser mezclado con agua forman una pasta que se endurece y fragua lo que produce un material resistente.

De los materiales que componen el concreto reforzado, el cemento es el más complejo y está compuesto por silicato bicálcico, silicato tricalcico, Aluminato tricalcico, y ferro aluminato tetra cálcico.

Este elemento puede llegar a presentar un sinnúmero de problemas entre ellos están:

- Falso fraguado.
- Retracción por exceso de calor de hidratación.
- Retracción hidráulica.
- Exceso de AC-3.
- Exceso de cal libre.
- Exceso de cal liberada en la hidratación.
- Exceso de magnesia.
- Reacciones con los áridos.

El cemento puede clasificarse según la naturaleza de sus componentes en:

- Cemento portland.
- Cemento hidráulico modificado con puzolana.
- Cemento hidráulico modificado con escoria.
- Cemento hidráulico de uso general.
- Cemento de albañilería.

El cemento portland puede ser clasificado según su tipo I –V donde:

Tipo I: Usado en canales, alcantarillas y obras hidráulicas.

Tipo II: Usado en puentes y tuberías de concreto.

Tipo III: -Alta resistencia inicial, se usa cuando se necesita desencofrar a los pocos días del vaciado.

Tipo IV: Se requiere bajo calor de hidratación.

Tipo V: Usado en canales alcantarillas y obras puntuarias. En los lugares donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos.

De esta forma existen distintos tipos de cemento según la obra que se desee construir, no puede utilizarse un cemento tipo III o IV para obras de drenaje puesto que sus compuestos son distintos aunque los compuestos básicos son iguales.

### 3.3.3 Áridos

Forma parte de los agregados áridos que forman el concreto y puede ser clasificada según su granulometría; en arena fina y arena gruesa es considerada fina (0-1mm) y se considera gruesa (1-5mm) para fabricar hormigón de buena calidad es preferible usar arena gruesa pues la fina puede contener muchas impurezas.

Se espera que la resistencia de los áridos sea la misma del concreto endurecido, y estos son de gran importancia pues afectan la resistencia del concreto. Una adecuada proporcionalidad, y la calidad del material pueden proveer un concreto con mejores características.

El barro y la arcilla son impurezas que contiene la arena y disminuye la resistencia del concreto, otra de las cosas que deben considerarse en la arena es su contenido de humedad ya que puede llevar a una dosificación incorrecta en cuanto a la cantidad de agua en la mezcla.

Constituyen entre el 70% y el 80% del volumen total del concreto, no son muchos los problemas que presentan entre ellos están áridos inutilizables, exceso de finos,

presencia de materia orgánica, áridos que exigen mayor cantidad de agua y producen igual baja resistencia.

**3.3.4 El acero de refuerzo.**

**Tabla 2 Diámetros área y perímetro de las varillas de refuerzo <sup>2</sup>**

Número de la varilla	Diámetro		Peso Kg/m	Área Cm <sup>2</sup>	Perímetro Cm
	Plg	Mm			
2	¼	6.3	0.248	0.32	1.99
2.5	5/16	7.9	0.384	0.49	2.48
3	3/8	9.5	0.557	0.71	2.98
4	½	12.7	0.996	1.27	3.99
5	5/8	15.9	1.560	1.99	5.00
6	¾	16.1	2.250	2.87	6.00
7	7/8	11.1	3.034	3.87	6.97
8	1	25.4	3.975	5.07	7.98
9	1 1/8	28.6	5.033	6.42	8.98
10	1 ¼	31.8	6.225	7.94	9.99
12	1 ½	38.1	8.938	11.40	11.97

**Fuente: Casillas, J., Díaz, R., Gonzales, O., Robles, F., (1974) Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado D.F. México: Limusa. (p.35)**

Existen dos tipos de acero para la fabricación de las varillas de refuerzo uno es el laminado en caliente y otro es laminado en frío, la varilla de ¼ no tiene corrugación esta es llamada alambroón y se utiliza para la elaboración de estribos.

Los distintos tipos de acero deben tener una adherencia adecuada con el concreto para lograr que trabajen en conjunto y este pueda soportar las sollicitaciones que el concreto no logra soportar.

Para utilizar el acero de refuerzo es necesario revisar que no presente una gran cantidad de corrosión pues un poco corroído en vez de ser perjudicial puede

<sup>2</sup> Casillas, J., Díaz, R., Gonzales, O., Robles, F., (1974) Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado (p.35) D.F. México: Limusa.

ayudar a la adherencia entre el acero y el concreto, una vez vertido el concreto en el acero el primero protegerá al segundo elemento de la corrosión ya que queda totalmente cubierto evitando el deterioro por exposición a efectos naturales.

Las varillas de acero tiene una longitud estándar de 6m y son unidas con alambre de amarre formando una estructura en el interior del concreto que soporta aun cuando este está fracturado. Es por esto que se debe tener cuidado en el amarre pues si es hecho de forma inadecuada puede llegar a ocasionar daños en el elemento y en la estructura.

### 3.4 PATOLOGÍA DEL CONCRETO REFORZADO

La enciclopedia Broto define la patología constructiva como la ciencia que estudia los procesos constructivos su proceso y solución, hablando específicamente de los materiales construcción.

El estudio de la patología no se refiere a la solución de problemas, si no que trata de prevenirlos antes de su aparición, si es que en cada caso pudieren ser evitados tratando de disminuir las variables que causan daños a las estructuras, lo que implica cambios en la selección del material mantenimiento y uso.

Con conocimientos de esto el ingeniero podrá tomar las medidas adecuadas para en inicio reducir las lesiones y tratarlas en caso de que aparezcan.

Para hacer frente a los problemas patológicos que se presenten en necesario conocer el origen del problema, además saber el proceso que lleva a la aparición de los síntomas, evolución y la reparación. Aunque una vez presentado el problema tiene que llevarse a cabo un proceso inverso iniciando el estudio no desde el origen si no del problema, esto nos llevara a identificar el proceso y origen, con el paso del tiempo y la experiencia dada por el campo el ingeniero podrá realizar este proceso con mayor rapidez.

Cuando se habla de la reparación de una edificación o de los elementos estructurales, se hace con el objetivo de recuperar las funciones principales si en



un caso estas se vieran afectadas, mejoramiento estético, o frenar el deterioro de las estructuras.

El concreto reforzado puede verse afectado por un sinnúmero de fallas, que muchas veces pueden afectar su funcionalidad, y fenómenos como la corrosión o la degradación química, pueden llegar a ser incluso más difíciles de reparar, en comparación con fallos en las armaduras que es considerado normalmente el más grave.

### 3.4.1 Generalidades

La patología puede ser definida como la parte de la ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles.

A la terapia le corresponde el estudio de la corrección y la solución de estos problemas patológicos. Para obtener éxito en las medidas terapéuticas, es necesario que el diagnóstico del problema haya sido bien definido.

La enciclopedia Broto define la palabra patología como “la palabra patología proviene etimológicamente hablando de las raíces griegas pathos y logos, que se puede definir en términos generales como estudio de las enfermedades” el término puede ser utilizado en construcción para la ciencia que estudia los problemas en las construcciones.

### 3.4.2 Proceso del estudio patológico.

El estudio patológico es un proceso complejo, es necesaria la presentación de informes completos pues con el desarrollo de las edificaciones las exigencias son mayores en cuanto a calidad se refiere, tanto funcional como estética prioridad que dependerá de la utilidad que vaya a tener la edificación.

Para realizar la rehabilitación de una estructura es necesario en principio conocer en profundidad el estado en que se encuentra esta. Esta parte del proceso de

estudio es denominada: “Estudios previos a la rehabilitación”. El cual como su nombre lo indica se realiza antes de rehabilitar la estructura y se concentra en identificar en cada una de las partes las lesiones presentes.

En esta parte previa es importante señalar que debe dar una localización precisa del elemento que tiene el daño y la parte del edificio en la que se localiza para que en los procesos posteriores, pueda ubicarse de forma correcta la lesión. En esta parte del proceso de tratamiento de estructura es necesaria la toma de fotografías de los sitios afectados.

Redacción de un informe con los problemas que presenta la estructura, la ubicación de estos y una descripción lo más exacta posible del lugar afectado. En caso de que se presenten dudas se necesita de la visita de campo planificada con anticipación para constatar que lo presentado en el informe este apegado a la realidad.

Como segunda fase está la calificación de las lesiones, en este punto se clasifican las lesiones dentro de los tres tipos planteados.

Una vez clasificadas las lesiones se investiga a fondo cuales son las causas de las afectaciones; ya sean físicas, mecánicas ó químicas, para organizar y poder planificar la rehabilitación de los elementos. Concluida la clasificación es necesario proponer las soluciones ya sean definitivas y temporales para tratar las lesiones, grietas, etc.

Concluidos los pasos anteriores se procede a la reparación y reestructuración de los elementos procurando de que la decisión tomada sea la mejor para la estructura.

### **3.4.3 Síntomas del proceso patológico**

Los síntomas son las manifestaciones de los problemas que se dan en el concreto, estos sirven como evidencian o señalan el problema, para precisar la causa se necesita adentrarse en el tema, puesto que muchas veces el mismo

concreto en las mismas condiciones presenta comportamientos distintos, tal vez en la sección de alguna loza en un área podría notarse algún daño y en el resto del área no. Lo que indica que hay algo que origina este síntoma, estas son las pistas que guían al patólogo o ingeniero a encontrar el motivo de las fallas.

Los problemas patológicos salvo raras excepciones, presentan manifestaciones externas, características de las cuales se puede deducir el origen, naturaleza y mecanismo de los fenómenos involucrados, así como estimar sus probables consecuencias, estos síntomas también denominados lesiones, daños, defectos, o manifestaciones patológicas, pueden ser descrito y clasificado , orientando un primer diagnóstico a partir de las detalladas observaciones visuales.

Los síntomas más comunes de mayor incidencia en el concreto son las fisuras, las eflorescencias, las flechas excesivas, las manchas en el concreto arquitectónico, la corrosión de las armaduras, las oquedades superficiales o huecos dejados por el colado (segregación de los materiales constituyentes del concreto) ; ciertas manifestaciones que tienen elevada incidencia como las manchas superficiales, sin embargo desde el punto de vista de las consecuencias en relación al comportamiento estructural y al costo de reparación del problema, una fisura de flexión o la corrosión de las armaduras pueden ser significativas.

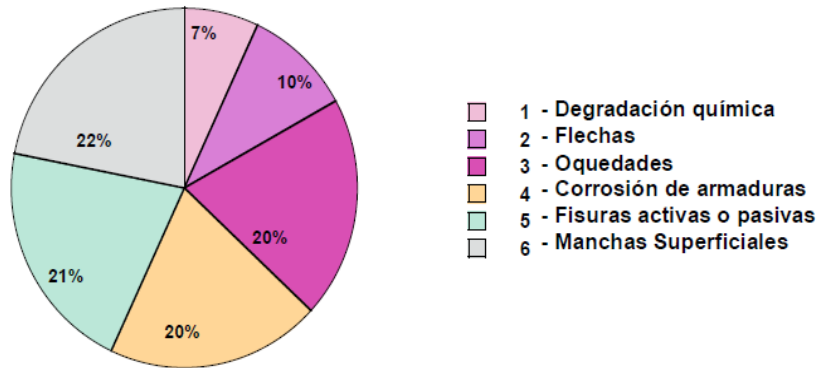
Se necesita ser precavido al analizar los síntomas y no atribuir la responsabilidad al motivo erróneo pues un tratamiento equivocado provocaría incremento en los costos.

#### **3.4.4 Mecanismo de las fallas.**

Todo proceso patológico llamado en lenguaje jurídico de vicio oculto o vicio de construcción o daño oculto, ocurre a través de un proceso, de un mecanismo. Por ejemplo: la corrosión de las armaduras del hormigón armado es un fenómeno de naturaleza electroquímica que puede ser acelerado por la presencia de agentes agresivos externos, del ambiente, o internos incorporados al concreto.

Los más bajos en cuanto a ocurrencia son las flechas y la degradación química pues para que se de degradación química generalmente se da por exposición a agentes químicos que puede ser en algún laboratorio o sitios donde se manipulen ciertos elementos como más adelante se desarrollara este tema

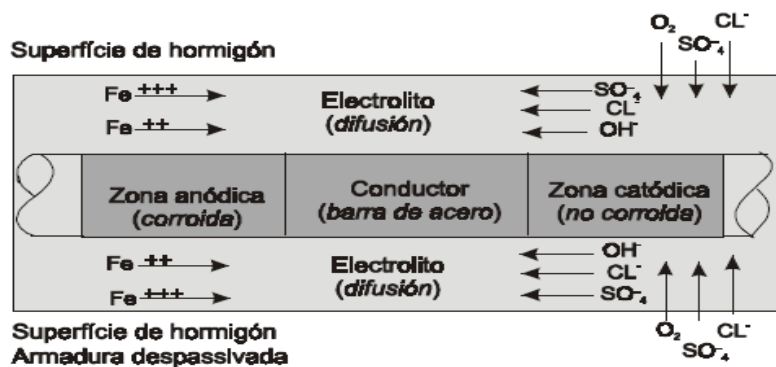
**Figura 1 Distribución relativa de la incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de concreto**



Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, reparación, refuerzo y protección. (P. 4).

La mayor incidencia de manifestaciones patológicas son las oquedades y la corrosión de las armaduras las primeras generalmente tienen un motivo constructivo o de manipulación podría ser vibrado incorrecto, mala proporción, mientras las fisuras tienen un sinnúmero de causas probables.

**Figura 2 Célula de corrosión electroquímica en el hormigón armado.**



Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, reparación, refuerzo y protección. (P. 4).

Por ejemplo para que la corrosión se manifieste es necesario que haya oxígeno (aire), humedad (agua), y el establecimiento de una célula de corrosión electroquímica (heterogeneidad de la estructura), que solamente ocurro después de la despasivación de la armadura conforme se presenta en la figura 2.

Conocer el mecanismo del problema es fundamental para una terapia adecuada. Es imprescindible saber por ejemplo, que deben ser limitadas las sobrecargas o reforzar las vigas cuando las fisuras son consecuencias del momento flexionante , en este caso no basta con la inyección de las fisuras, pues estas podrían aparecer nuevamente en condiciones muy próximas a las iniciales.

### 3.4.5 Origen de las lesiones

El proceso de construcción es dividido en 5 grandes etapas: planeamiento, proyecto, fabricación de materiales, y elementos fuera de la obra, ejecución propiamente dicha a pie de obra y uso; esta última etapa la más larga involucra la operación y mantenimiento de las obras civiles.

Los problemas patológicos se dan durante la construcción o después de la ejecución propiamente dicha, última etapa de la fase de producción, normalmente con mayor incidencia en la etapa de uso. Los problemas como los resultantes de las reacciones álcalis-áridos, solo aparecen con intensidad después de más de seis años.

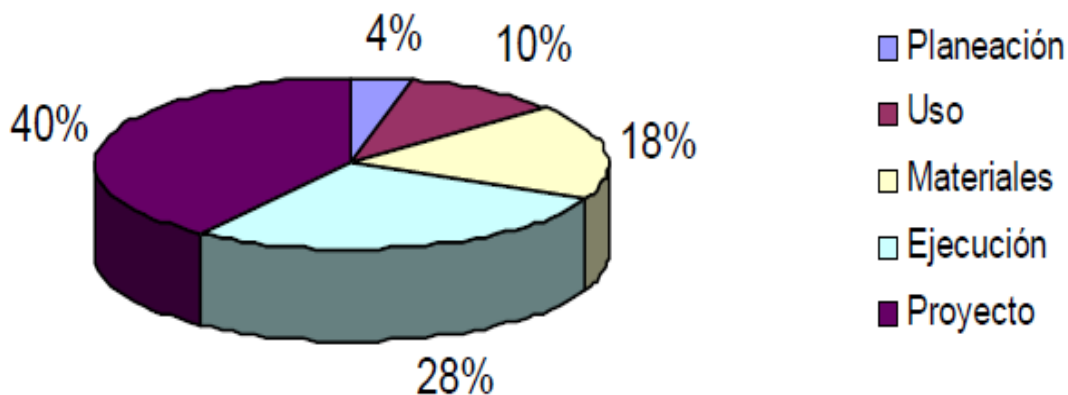
Un diagnóstico adecuado del problema debe indicar en qué etapa del proceso constructivo tubo origen el fenómeno, para cada origen del problema existe la terapia más adecuada aunque el fenómeno y los síntomas pueden ser los mismos.

Cabe resaltar que la identificación del origen del problema permite también identificar para fines judiciales, quien cometió la falla, si el problema tuvo origen en la fase del proyecto, el proyectista falló; cuando el origen está en la calidad del material; el fabricante quien falló; si es en la etapa de mano de obra está en la

ejecución de la mano de obra y las fiscalización o las constructoras fueron omisas; si es en la etapa de uso la falla es de manutención y de operación.

Un elevado porcentaje de las manifestaciones patológicas tienen origen en la etapa de planeamiento y proyecto como se muestra en la figura 3.3, las fallas de planeamiento y proyecto son en general más grave que las fallas de calidad de los materiales o de mala ejecución, es siempre preferible invertir más tiempo en el detallado del diseño de la estructura, que por falta de previsión, tomar decisiones apresuradas y adaptadas durante la ejecución.

**Figura 3 Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de producción y uso de las obras civiles.**



**Fuente:** Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, reparación, refuerzo y protección. (P. 6).

### 3.4.6 Identificación de las lesiones.

Para la toma de datos es necesario de una supervisión periódica, e igual importancia tiene recopilar la mayor cantidad de información e imágenes si es posible. Ya que esta es la primera fase del proceso y es de vital importancia no dejar ni un pequeño sitio sin revisar pues la observación es visual y realizada en el sitio.

Normalmente el reconocimiento de una construcción se aborda en tres etapas fundamentales las cuales son;

- 1) Examen Global de la obra
- 2) Inspección y registro de los procesos patológicos
- 3) Obtención de datos básicos para la fase de análisis.

Si es posible y se cuenta con suficiente información de la construcción y sus materiales es necesario indagar sobre el origen de estos, para así verificar la calidad del material utilizado en la construcción, de esta forma poder iniciar a eliminar variables. Debe verificarse si los materiales cumplen con las normas de construcción del país en primera instancia, y además si cumple con las normas ACI<sup>3</sup>.

Si es una edificación antigua se debe verificar con que reglamento se estaba trabajando cuando se construyó y si puede incurrir en errores de acuerdo a los reglamentos más actuales. Pues esto daría una noción de posibles deficiencias en el diseño.

En el caso del concreto se necesita más que una observación minuciosa por la naturaleza del material, además se debe realizar tomas de muestras. Para el estudio del concreto se necesita de equipamiento para las inspecciones técnicas las que incluyen; pruebas de carga, realización de análisis y ensayos, aquí se necesita de técnicos especializados.

Existen tres tipos de ensayos, los cuales se realizan de acuerdo a la clasificación o mejor dicho al origen de la lesión pues existen ensayos físicos, ensayos mecánicos y ensayos químicos.

### **3.4.7 Causa de las alteraciones.**

Los agentes causantes de los problemas patológicos pueden ser varios: Cargas, Variaciones de humedad, Variaciones térmicas intrínsecas y extrínsecas del

---

<sup>3</sup> Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado (1971)D,F. México, Unión Grafica S.A

concreto, Agentes biológicos, Agentes atmosféricos entre otros; En caso de una fisura en viga por momentos flectores el causante es la carga, en caso de fisuras verticales en vigas los agentes causantes pueden ser tanto la variación de humedad como la retracción hidráulica por falta de curado como gradientes térmicos resultantes del calor de hidratación del cemento o variaciones diarias de temperaturas ambientales. Para cada caso corresponde una terapia adecuada y duradera.

En general los problemas patológicos son evolutivos y tienden agravarse al transcurrir el tiempo, además de arrastrar otros problemas asociados al problema inicial. Por ejemplo Una fisura de momento flector puede dar origen a la corrosión de las armaduras; flechas excesivas en vigas y losas pueden conducir a fisuras en paredes y deformaciones en pisos rígidos apoyados sobre elementos flexionados

Son diversos los factores que influyen en el deterioro del concreto y del refuerzo entre ellos pueden nombrarse:

### 3.4.7.1 Factores intrínsecos

Llamados así los factores que dependen de la calidad del material aunque normalmente son pocos estos factores en comparación con los otros dos posteriores. Es posible que en ocasiones se presenten y por eso la importancia de estudiarlos.

Existen dos tipos de características de los materiales, las esenciales y circunstanciales .las primeras son las que pertenecen al material, sus propiedades, están basadas en el origen de los materiales, su composición y minerales.

Las circunstanciales en cambio son las se presentan en ciertas circunstancias o mejor dicho sus características, como la resistencia mecánica, resistencia al fuego y la durabilidad. En síntesis es la forma en que se comporta ante los agentes externos.



Y según la resistencia que puedan presentar ante tales agentes externos pueden clasificarse en elásticos, plásticos y frágiles.

Dentro de los factores intrínsecos esta la porosidad, se conoce como porosidad al volumen de agujeros o de vacíos en el concreto hay muchas razones para su presencia entre ellas podemos destacar el vacío que deja el agua al evaporarse, los huecos por mala compactación, etc. Entre más espacios existan el material será más poroso.

### 3.4.7.2 Factores debidos a extracción colocación y manipulación

Básicamente se debe a los errores que se comenten en la extracción, manipulación y colocación del concreto, también puede incluirse el amarre y colocación del acero de refuerzo así como la distribución adecuada del mismo.

Errores que son muy frecuentes cuando se trabaja con mano de obra no calificada o bajo una supervisión poco exigente, la resistencia del concreto depende mucho de una manipulación, correcta así como de su transporte elementos y elaboración.

Este factor a su vez se divide en cuatro factores:

- a) Fallos en la fabricación del material.

Para que el concreto cumpla con los requerimientos que se esperan de él es necesario que llegue al sitio de la obra de acuerdo a lo planificado y siguiendo los procedimientos que establece el reglamento nacional de la construcción. Algo que muchas veces se toma a la ligera es el hecho de no mezclar el material cuando este haya finalizado su proceso de fraguado inicial.

La elaboración del concreto no es muy compleja, pero cada paso debe elaborarse con mucha precaución, proporcionar de acuerdo a lo establecido pues son muchas las variables que afectan la resistencia del hormigón. De manera que al ser colocado en su sitio final este pueda reaccionar de acuerdo a lo que se espera en cuanto a resistencia y durabilidad soportando de forma adecuada las cargas y permaneciendo funcional durante el periodo que se ha establecido como vida útil.

### b) Fallos de proyecto

Pueden surgir muchos errores durante la realización del edificio, los que a su vez afectan la estructura, entre los más comunes podemos mencionar:

Errónea elección del material, técnica constructiva inadecuada, diseño defectuoso del elemento constructivo, e incompatibilidad de materiales.

### c) Fallos de ejecución

Los fallos de ejecución son los problemas que se presentan cuando el proyecto no se realiza de acuerdo a lo planificado, o a las normas que rigen la realización de proyecto.<sup>4</sup> Las practicas inadecuadas, pasando por alto lo establecido en el reglamento nacional, o el manejo de acuerdo a las normas para el manejo del concreto. Entre los más comunes se mencionan; la mala colocación y unión de armaduras, mal vibrado del concreto, falta de juntas de retracción, etc.

### d) Falta de mantenimiento

En cuanto al mantenimiento el concreto no presenta muchos problemas más que todo trata de lo estético lo que afecta el material es el ensuciamiento. Esta es una de las grandes ventajas del hormigón en comparación con otro sistema estructural como el acero que necesita mantenimiento continuo.

El mayor problema es la acumulación de suciedades, la aparición de materia orgánica en la fachada, o en las losas de techo, el desprendimiento de la pintura.

#### 3.4.7.3 Factores extrínsecos

Los factores extrínsecos son aquellos que afectan la estructura durante su vida útil, daños que pueden ser causados por la naturaleza como los daños causados por la acción del hombre. De las distintas acciones externas las más comunes son el viento y el agua estas dos acarrear consigo diversos agentes que pueden ser dañinos para la mezcla de concreto.

---

<sup>4</sup> Reglamento Nacional de la Construcción. (2007). NORMAS MINIMAS GENERALES de CONCRETO REFORZADO/ RNC-07-71

Entre los factores naturales están, el agua y la humedad, para que puedan ser diferenciadas de otro tipo de humedades presentes mencionaremos las que causan estas, agua de lluvia, agua absorbida por capilaridad, agua de condensación en el interior del edificio.

Una vez que el agua se ha infiltrado en el concreto puede incrementar el deterioro de este por los cambios de temperatura, ya que estos provocan en el agua dilatación y contracción y pueden llevar al elemento a sufrir otro tipo de lesiones.

Otro de los factores extrínsecos es el viento no desde el punto de vista mecánico ya que esto será plasmado en otro tipo de lesiones, sino más bien por los elementos que puede acarrear y causar daño al elemento así como suciedades, además el viento incrementa la fuerza de impacto del agua.

### 3.4.7.4 Causas físicas

Entre las causas se puede hacer notar para su clasificación y diferencia que los daños que causan estas lesiones, desaparecen o al menos el material recupera su condición inicial una vez que haya sido eliminada la causa del deterioro.

Dentro de las causas físicas podemos nombrar las humedades, las erosiones, los procesos biofísicos y la suciedad.

#### Humedades

Existen distintos tipos de humedad según el origen o la utilidad de la misma entre las cuales se puede mencionar; humedad de obra, humedad capilar, humedad de filtración, humedad de condensación, humedad accidental.

La humedad de obra es aquella que se utiliza en el proceso constructivo, ya que para la fabricación del concreto reforzado se utiliza una gran cantidad de agua, aunque la mayor cantidad de agua se elimina por la evaporación, esto depende también del tipo de clima pues en climas húmedos con poca presencia de sol el proceso de evaporación es un poco más tardío.

La humedad capilar es como su nombre lo dice, debida a la capilaridad del material, en esta el agua sube desde el suelo hacia arriba en contra de la gravedad por esta propiedad, a través de los cimientos hacia la estructura.

En todo suelo existe un nivel freático o sea un nivel de agua ya sea profunda o superficial es por esto importante conocer si los cimientos en estructuras de concreto reforzado llagan hasta el nivel freático.

La humedad de filtración es el agua proveniente del exterior y que penetra en las estructuras, la mayor causante es el agua de lluvia, esta puede dividirse en tres grupos la humedad de absorción, humedad de infiltración y humedad de penetración.

Humedad de condensación es aquella que proviene del contenido de vapor de agua en el aire, el fenómeno de la condensación se produce cuando el agua alcanza cierta temperatura más fría y libera el vapor en forma de agua de rocío. Cuando el aire con cierto contenido de humedad se pone en contacto con los materiales más fríos también se produce la condensación.

Humedad accidental; esta se produce cuando se da un desperfecto en las tuberías o otros sistemas dentro de los edificios que liberen agua, las estructuras más expuestas son las que se encuentran cerca de los baños, cocinas y sitios de lavados.

Muchas veces estas fallas en las tuberías pueden presentarse en forma similar a la de humedad de condensación pero una vez solucionado el daño, la humedad desaparece.

### **Erosión**

Este tipo de erosión física se debe al desgaste provocado por los factores externos como el viento, aunque otros dos agentes causan desgaste estos son el sol y el agua. Esta última causa más daños en las grandes ciudades que producto de la contaminación traen consigo agentes químicos que contribuyen al deterioro

progresivo de la estructura. Cuando se habla de erosión física no hay variaciones en la composición química del material.

Otra de las formas en que el agua afecta las estructuras, es mediante su ingreso en los poros del concreto. Hecho que aumenta el volumen con la acción de los cambios de temperatura, mediante la acción repetida de este proceso llega a provocar fisura en la estructura, es por esto que es muy importante dar acabados de calidad al concreto.

### **Suciedad**

Se habla de suciedad cuando el aire el viento y el agua acarrean con ellos partículas y sustancias que se depositan en los elementos. El nivel de daño por ensuciamiento depende de dos factores fundamentales, uno es la cantidad de agentes dañinos contenidos en la atmósfera y de la porosidad del concreto, pues entre mayor sea esta habrá más espacio donde puedan alojarse los agentes.

Los agentes que son traídos a la atmósfera por el hombre mediante las fábricas, las calefacciones, etc. Son los que provocan el mayor daño, mientras que el ensuciamiento en lugares donde el contaminante son las partículas de polvo es más visible que dañino.

### **3.4.7.5 Causas Mecánicas**

Son las causas del colapso de los edificios, ya que al referirse a las causas mecánicas nos referimos a los daños causados por las fuerzas actuantes sobre los edificios, ya sean las calculadas para el diseño del mismo, como las inesperadas pero previstas como los sismos o la fuerza del viento en grandes alturas.

Es difícil que se produzca el colapso total del edificio, si éste ha sido diseñado adecuadamente para que esto suceda, las fuerzas actuantes deben superar las reacciones de los elementos. Los daños pueden manifestarse en forma de fisuras, deformación, grietas o desprendimiento, estos factores pueden mermar la capacidad funcional de la edificación y llevar a su inutilización, ya que pondría en

peligro la vida de las personas que habiten o trabajen en la estructura y los edificios aledaños.

Las lesiones de origen mecánico se clasifican en cuatro grandes grupos; deformaciones grietas y fisuras, desprendimiento y erosión mecánica.

### Deformaciones

Las deformaciones son el cambio de los elementos pueden ya sea pandeos, deflexiones u otros.

Es necesario saber que estas a su vez son el origen de otros daños mecánicos como las grietas y fisuras debido a la naturaleza del material. Dentro de las deformaciones podemos calificarlas según su origen en deformaciones mecánicas, que a su vez tienen dos causas las cargas verticales excesivas y cargas inclinadas, y las deformaciones por movimiento generalizado.

### Grietas y fisuras

**Figura 4 Grietas y fisuras en elementos estructurales**



Fuente: Propia

Muchos confunden las grietas y las fisuras pero la diferencia radica en que las fisuras son superficiales mientras que las grietas pueden atravesar el elemento aunque ambas son indicio claro de un daño grave. Las causas pueden ser

variadas y van desde el material hasta su uso. Aunque habrá un apartado dedicado al estudio de las grietas y fisuras donde podrán clasificarse según su tamaño.

### **Desprendimiento**

El desprendimiento es la separación de partes o elementos que principalmente afectan la fachada y pueden producir peligro pues al caer un elemento desde cierta altura puede provocar daños a las personas que transitan por el lugar, previamente al desprendimiento están la presencia de grietas y fisuras.

Influyen mucho la antigüedad del edificio y la calidad del material o el material mismo de la fachada, aunque las causas pueden agruparse en tres grupos; por esfuerzo rasante, por dilatación del elemento filtrado y por falta de adherencia.

### **Erosión mecánica**

Es la pérdida del material por la acción de fuerzas mecánicas, en gran medida estas afectaciones tienen su origen en el uso que las personas dan a la estructura, mientras que en las fachadas se pueden presentar los mayores daños pues son las más expuestas a las acciones del ser humano.

Tratando de preservar los edificios, el ser humano puede dar un mantenimiento inadecuado que favorecerá al deterioro del mismo, he incrementara la erosión aunque el hombre no es el único causante ya que los animales pueden provocar daños similares a los que ocasiona el hombre.

En la figura 5 puede notarse el desprendimiento del concreto de recubrimiento producto de la acción humana, el constante paso de vehículos en estacionamientos produce la erosión por acción mecánica a causa del impacto en la viga de entrepiso.

Las zonas con mayor presencia de este tipo de daños son los puentes, estacionamientos, lugares donde se utilicen distintos tipos de maquinaria ya sea industrial o de construcción.

**Figura 5. Mecánicas causadas por el hombre en la estructura.**



Fuente: Propia

### **3.4.7.6 Causas químicas**

#### **Ataque por ácidos y bases**

La pasta de cemento es un material altamente alcalino. Altas concentraciones de materiales alcalinos al entrar en contacto con el concreto durante procesos industriales causan deterioro solamente a través de procesos que no provienen de la reacción química directa tal como la reacción álcali-sílice.

Esto es completamente diferente para las soluciones ácidas que atacan el concreto, cuya consecuencia es la desintegración de la pasta de cemento quedando expuesto los agregados.

#### **Velocidad de ingreso**

Se considera que los concretos de baja permeabilidad, es decir, con baja relación agua/cemento, bien compactados y bien curados son poco probables que sean atacados por sulfatos, por lo general los casos se observan en concretos porosos y con deficiencia de curado.



### **Acción de los sulfatos**

Los sulfatos en solución acuosa atacan a los concretos de cemento portland provocando reacciones expansivas que puede provocar el deterioro del elemento estructural.

Los iones sulfatos pueden estar presentes tanto en soluciones acidas, caso del ácido sulfúrico, en soluciones alcalinas como el sulfato de amonio, o en sales entre las que se puede mencionar los sulfatos de calcio, de magnesio y de sodio, la severidad del ataque está condicionada por la velocidad de ingreso de la solución al concreto, la concentración de esa solución, la especie química propiamente dicha y el tipo de cemento empleado.

### **Ataque por sulfatos en agua de mar**

El agua de mar contiene sulfatos en solución. La presencia de sustancias disueltas en el agua de mar y particularmente los iones de cloruros modifican la situación, limitando la severidad del ataque, conduciendo a la corrosión de las armaduras, proceso mucho más severo que el ataque potencial por iones de sulfato.

Por esta razón no debe indicarse el uso de cementos de alta resistencias a los sulfatos porque son más permeables a los iones de cloruros.

### **Concentración del ion sulfato en la solución**

La concentración del ion sulfato en solución es determinante en la severidad del ataque, pudiendo definirse distintos grados de severidad en función del contenido de mg de sulfato por cada 1000 g de solución.

### **Especie química propiamente dicha**

Se debe tener en cuenta la especie química sea ácido o base y el catión que acompaña al sulfato ya sea este sodio, calcio, magnesio u otros. Para cada caso se debe tener en cuenta el conjunto de productos de reacción ya que pueden ocurrir mecanismos que incrementan la severidad del daño.

### Tipo de Cemento empleado

Es común asociar la magnitud del daño con el contenido de aluminato presentes en el cemento con el que se elabora el concreto, sin embargo se está imponiendo la tendencia a evaluar el comportamiento de los cementos a partir de ensayos normalizados, al respecto cabe indicar que los cementos con adición suelen presentar comportamientos satisfactorios frente al ataque leve y moderado por sulfatos.

Cuando los materiales son afectados por químicos presentes en la atmosfera, el deterioro es un poco lento en comparación con las otras afectaciones sin embargo su tratamiento es un poco complicado pues no se puede eliminar la causa, pero no solo se denominan causas químicas a las presentes en la atmosferas sino también a la de las reacciones producidas por el material.

Y aunque el deterioro no es muy rápido, causa un gran inconveniente ya que afecta la durabilidad del material por las reacciones que pueden producirse cuando un químico entra en reacción con alguno de los componentes del concreto.

Es un poco difícil en ocasiones identificar que las lesiones químicas de las mecánicas y las físicas pero para facilitar la identificación se pueden clasificar en: Eflorescencias, Oxidación, Corrosión, Erosión, Procesos Bioquímicos.

### Lixiviación y Eflorescencia

La Eflorescencia ocurre frecuentemente en el concreto cuando el agua tiene la oportunidad de percollar a través del material, ya sea de forma intermitente o continua. Esta consiste en el depósito de sales que son lixiviadas fuera del concreto.

La eflorescencia perjudica la estética, pero en sí misma no constituye un problema específico de durabilidad, sin embargo nos indican que existen procesos de solubilización y transporte de sales, revelando fenómenos de lixiviación lo que lleva al incremento de la porosidad, disminución la resistencia, aumento de la

permeabilidad, haciendo al concreto más vulnerables a otros ataques y consecuentemente a afectar indirectamente la estructura.

**Figura 6 Eflorescencia en viga de entrepiso Antigua Nunciatura Apostólica.**



**Fuente: Propia**

La Lixiviación, es mayor especialmente cuando el agua pasa a través del concreto a presión. Los fenómenos de Lixiviación de los hidróxidos alcalinos, conducen también a una reducción del pH del concreto y eventualmente a una redistribución interna del contenido de álcalis, esto conduce a la ocurrencia de otros fenómenos dependiendo las condiciones de las exposiciones y las características de los materiales componentes; entre estos fenómenos los más severos son la corrosión de las armaduras y la expansión de la masa de concreto por reactividad alcalina de sus agregados.

Estas se presentan en forma de manchas, por su coloración se diferencian de las manchas por humedad ya que las Eflorescencias tienen un color más claro que las manchas por humedad y ensuciamiento. Es producto de la cristalización de sales además de la florescencia externa esta puede ocurrir en el interior de los materiales pero tiene un nombre diferente pues es llamada Criptoeflorescencia.

Este fenómeno no ocurre en todos los materiales si no en los porosos como el concreto, pues el agua debe penetrar en el material disolver las sales y arrastrarlas al exterior, y si un material es impermeable este proceso no puede ocurrir.

Las causas de este fenómeno son; la humedad de la obra, humedad de infiltración, condensación, y por humedades accidentales. .

### **Erosión química**

A diferencia de las otras erosiones, esta es causada por la exposición de elemento a distintos agentes químicos lo que provoca pérdida del material y la transformación molecular del concreto.

Al comprar estructuras de cascos urbanos y construcciones en áreas poco pobladas puede notarse que la erosión es mayor en los sitios con mayor cantidad de personas, esto debido a que cuando esta expuestos a sitios muy contaminados con gran cantidad de agentes químicos en la atmosfera estos aceleran el proceso de erosión. Las deposiciones de las aves también contienen ph que deteriora las fachadas.

### **Procesos biológicos**

Son las lesiones provocadas por el asentamiento incontrolado de organismos vivos ya sean animales o vegetales<sup>5</sup>. Este proceso solo afecta las fachadas atacando de forma química los componentes de los materiales dentro de los causantes se tienen a los animales y a los vegetales.

Hongos y algas microscópicas, son comúnmente visibles en edificaciones antiguas en climas húmedos; esto debido a que según la enciclopedia Broto requieren de una cantidad mayor al 20% en el elemento constructivo. Las algas microscópicas se ubican en lugares donde escasamente llega el sol.

---

<sup>5</sup>(2004) Enciclopedia Broto de la patología de la construcción(p. 186)

### 3.4.8 Corrosión

La corrosión es un proceso electroquímico que provoca la oxidación del acero en el concreto los factores que afectan este fenómeno están asociados generalmente a las características del concreto, medio ambiente y a la disposición de las armaduras en los componentes estructurales afectados. Los daños causados en el concreto por corrosión de armaduras, generalmente se presentan a través de fisuras paralelas a la dirección de los esfuerzos en el concreto y en desprendimiento del recubrimiento.

Por lo general en componentes estructurales que presentan un gran contenido de humedad, los primeros síntomas de corrosión se presentan con manchas de óxido en la superficie del concreto. La corrosión puede afectar la capacidad portante de los elementos estructurales afectados ya sea por disminución de la sección transversal de las armaduras, pérdidas de adherencia entre el acero y el concreto y la figuración de este; así mismo el deterioro progresivo de las estructuras por corrosión puede comprometer la seguridad de las personas.

**Figura 7 Proceso avanzado de corrosión en el acero de la estructura.**



Fuente: Propia

### 3.4.8.1 El proceso de corrosión

En el caso del concreto el proceso tiene lugar en la solución existente en los poros interiores.

El fenómeno se observa con frecuencia en concreto de baja calidad, elaborados con alta relación de agua cemento y por consiguiente que presentan elevada porosidad, así como en componentes estructurales afectados por humedad o ciclos de mojados. La elevada alcalinidad que provee al acero de un medio protector en el cual su velocidad de corrosión es prácticamente nula, esta condición se llama pasividad y este estado pasivo puede perderse debido fundamentalmente a la acción de dos mecanismos; ataque por cloruros y pérdidas de alcalinidad en el concreto.

### 3.4.8.2 Ataque por cloruro

La presencia de una concentración crítica de iones de cloruro en contacto con la superficie de la armadura provoca la despasivación del acero y la corrosión localizada de este. El valor de  $C_c$  depende: Según el caso en el contenido de humedad del concreto, del  $pH$ , y del contenido de aluminato tricalcico ( $C_3A$  en el cemento).

En general el valor de  $C_c$  adoptado en la práctica es de 0.4% en peso respecto al contenido de cemento en el concreto.

### Oxidación y corrosión

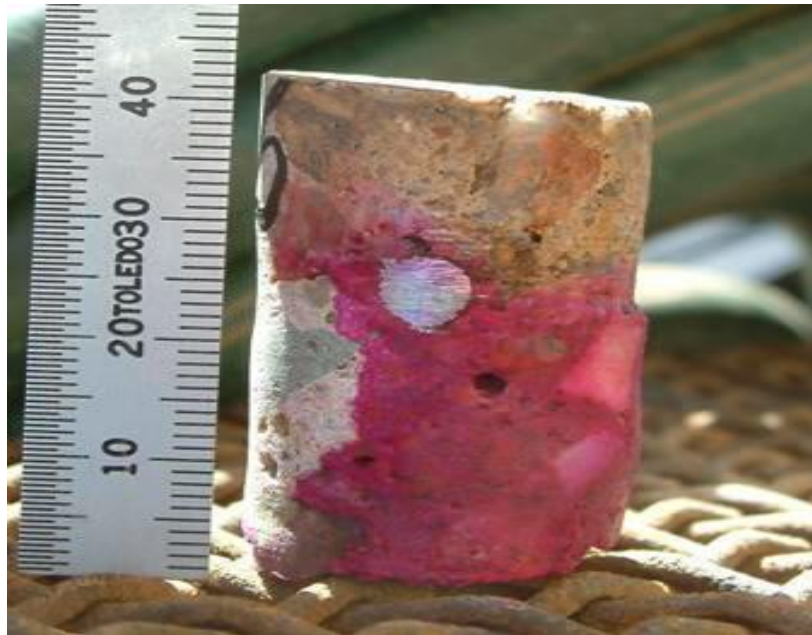
Se entiende por oxidación la transformación del metal en óxido al reaccionar este con el oxígeno del ambiente, en el acero suele formarse una delgada película de óxido que en vez de ser dañina puede proveer adherencia al metal, la oxidación es más lenta cuando el elemento está en un ambiente seco pues de lo contrario llegaría a destruir las varillas de acero.

Cuando hablamos de oxidación nos referimos a la principal causa de daño del acero de refuerzo aunque este está cubierto por concreto muchas veces puede verse expuesto a la atmosfera y causar grandes daños, no solo al refuerzo si no a la estructura pues este tiene la función de ayudar al concreto a soportar los esfuerzos a los que el concreto es débil y además una vez que el concreto se ha roto proporciona estabilidad a la estructura siempre y cuando este en buen estado.

Según el lugar donde se encuentre las estructuras la oxidación puede ser alto, medio y bajo pero el elemento más expuesto es la cimentación pues es difícil saber cuándo está siendo afectada pero puede saber si son terrenos costeros el nivel puede ser alto.

### 3.4.8.3 Perdida de alcalinidad en el concreto.

**Figura 8 Prueba de Fenolftaleína para determinar el frente de carbonatación**



Fuente: (<http://civilgeeks.com/2011/10/02/la-carbonatacion-el-primer-cancer-del-hormigon-i/>)

La disminución del ph en el concreto ( $ph \leq 9$ ), provoca la pérdida de la pasividad del acero. Este proceso puede ocurrir como resultado de la lixiviación de las sustancias alcalinas existentes en los poros del concreto o bien debido al proceso

de carbonatación esta ocurre como resultado de la reacción química entre el hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  y otros álcalis ( Sodio y Potasio) presentes en la solución de los poros con el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosféricos.

Como resultado de esta reacción se forma el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y se acidifica el concreto, este proceso avanza hasta el interior del concreto y ocurre con mayor rapidez en concretos de baja calidad y en ambientes cuya humedad relativa varía entre 50 y 70 %.

### **3.4.8.4 Proceso de corrosión bajo tensión**

Este es uno de los más difíciles de identificar y predecir en la práctica, ocurre ocasionalmente en aceros de alta resistencias utilizados en estructuras de concreto post y pretensada, se caracteriza por ser de tipo localizado y no presentar pérdidas de masa significativa , en consecuencia puede ocasionar fallas en elementos estructurales sin que se observen signos visibles de corrosión en la estructura, este fenómeno también está relacionado a la aparición de fisuras que se propagan con relativa rapidez, provocando una rotura de tipo frágil del material.

### **3.4.9 Efectos de ciclos térmicos o ciclos de mojado-secado.**

La acción cíclica de esto provoca una acción perjudicial por acumulación de efectos. Las fisuras pueden no ser importantes en relación al deterioro, pero ciertamente sirven de vías de acceso a distintos agentes agresivos (aguas, sales, ácidos, aire, etc.) y consecuentemente afectar la durabilidad.

### **3.4.10 Acciones que generan desintegración del concreto.**

#### **3.4.10.1 Cambios de temperatura y humedad**

Los cambios de la temperatura ocasionan variaciones de volumen, con los cambios en el contenido de humedad el concreto se hincha cuando se humedece y se contrae a medida que se seca, considerando estos fenómenos se manifiestan de forma homogénea en toda la sección solo aparecerán tensiones si los vínculos,



externos o internos impiden la libre deformación como vínculos internos (la presencia de barras de armaduras, cambios bruscos de sección, etc.) y en los externos se puede citar, la fricción (en el caso de losas apoyadas sobre el piso), apoyos fijos, etc.

La morfología de las fisuras es simple, son aproximadamente entre sin entrecruzamientos y se orientan perpendiculares a la tensión principal de tracción, dado que el concreto se seca lentamente, cuando esto es común observar un cuarteado en la superficie del concreto en el que el ancho de las fisuras es pequeña pero abarcan prácticamente toda la superficie pero este tipo no aparece después de varias semanas o incluso meses siendo el concreto mucho más resistente a la tracción que a la compresión, por lo que interesa más evaluar las contracciones que las dilataciones ya que es muy raro que un elemento falle por su dilatación.

Sin embargo en muchas circunstancias puede generarse la fisuración sin que intervengan vínculos aparentes, esto ocurre cuando la distribución de humedad o temperatura no es uniforme en el elemento existen gradientes marcadamente no lineales y se generan tensiones que pueden exceder la capacidad de deformación y la resistencia de la tracción del material.

Otra situación que puede darse con cierta frecuencia es cuando el elemento estructural es de sección variable, una vez que se desmolda las partes delgadas se secan más rápidos que las partes gruesas, contrayéndose antes. Otro efecto similar ocurre cuando se desmolda un elemento de concreto y hay una gran diferencia entre la temperatura del concreto y la del aire (Concreto caliente, Aire frío), imponiéndole consecuentemente una restricción a la libre deformación por lo que también se generan fisuración superficial con aspectos de mapeo.

### **3.4.10.2 Acciones de las bajas temperaturas sobre el concreto-Efectos de ciclos de congelamiento y deshielo.**

La acción de bajas temperaturas debe considerarse en dos situaciones que pueden o no coexistir.

Ocurre en el momento de la elaboración, colocación y compactación del concreto y horas posteriores, “Concreto Joven” cuya resistencia a la compresión es menor a 4MPa. La segunda constituye una condición de servicio durante la vida útil del concreto, por la repetición de ciclos de congelamiento y posterior al deshielo, estando saturado el concreto.

En ambos casos la causa básica de deterioro puede asociarse con la expansión de volumen que sufre el agua al congelarse, pero los mecanismos de prevención del deterioro y las consecuencias del daño son diferentes. Dado que el daño está asociado al bajo contenido de humedad y exposición a bajas temperaturas, microscópicamente se manifiesta con dos tipologías diferentes: Descascaramientos superficiales “scalling” y fisuras paralelas o sub-paralelas en las zonas más húmedas.

### 3.4.10.3 Acción del fuego sobre las estructuras de concreto armado

Este es un problema complejo y parte de esa complejidad se debe a que el concreto y es un material compuesto, los distintos componentes no reaccionan de la misma forma ante la acción de altas temperaturas. El grado de alteración que se puede producir en el concreto y sus componentes va a depender principalmente del nivel de temperatura alcanzado, del tiempo de exposición y de la composición del concreto.

Podemos analizar los efectos producidos por el fuego sobre el concreto reforzado teniendo en cuenta los efectos que se producen sobre las características del concreto, las características del acero, la vinculación que existe entre ambos en el concreto reforzado, las consecuencias cuando las dilataciones están total o parcialmente impedidas y los esfuerzos producidos como consecuencia de los gradientes térmicos.

#### **Alteraciones Producidas en el Concreto.**

El calor específico, esto produce un retardo en el pasaje de calor interior de la masa, pero como consecuencia de este efecto positivo de la humedad, la

evaporación del agua contenida en los poros no accesibles hace que se produzca un fuerte incremento de la presión interna, que puede originar desprendimientos explosivos del concreto del recubrimiento, de ahí la importancia de su espesor.

La conductividad térmica del concreto es baja, siendo inferior en concretos ligeros en los fabricados en agregados calizos, y menor en estos que en los fabricados con agregados silíceos.

El cemento Portland sufre una serie de cambios al ser sometidos a altas temperaturas.

- Entre 300 y 600°C, tonalidad rosácea, por alteración de los compuestos del hierro. El concreto pierde hasta el 60% de la resistencia inicial a la compresión.
- Hasta 900°C, color gris claro. A esta temperatura se empieza a degradar los compuestos de conglomerante endurecido. El Concreto se vuelve poroso y friable. Al enfriarse las superficie de las piezas, mientras el interior permanece caliente se producen una serie de fisuras que se cortan ortogonalmente (fisuración en piel de cocodrilo), en esta el concreto pierde del 60 al 90% de la resistencia inicial.
- Por encima de los 900°C, el concreto adquiere un tono blancuzco o amarillento y carece de resistencia residual alguna.

### **Alteraciones producidas en el acero.**

La capacidad última del acero disminuye con la temperatura pero la deformación máxima permanece estable.

Si el acero ha estado sometido a temperaturas inferiores a los 600°C, al enfriarse recupera prácticamente la totalidad de la capacidad inicial, incluso habiendo alcanzado temperaturas de hasta 1000°C, los aceros de dureza natural recuperan la capacidad existente tras el enfriamiento, en el caso de aceros de pretensados puede causar pérdidas mayores; el enfriamiento brusco de las armaduras

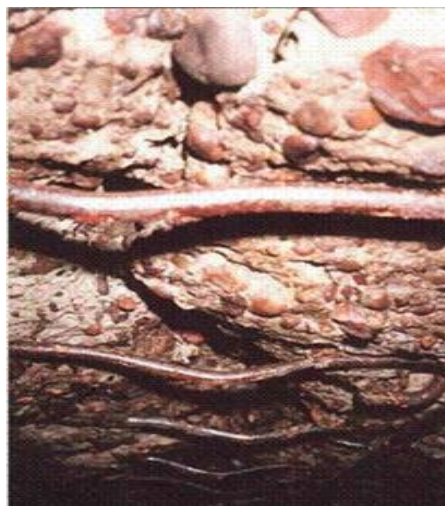
expuestas por el agua de los trabajos de extinción pueden producir a su vez el templado y la fragilización del acero.

### Alteraciones producidas en adherencia acero-concreto.

La pérdida de adherencia de las armaduras en una estructura es común después de un incendio. Ya que tanto el concreto como el acero tienen casi el mismo coeficiente de dilatación térmica es óptimo trabajarlos en conjunto, sin embargo el acero es un buen conductor del calor y el concreto es un aislante térmico.

Cuando se encuentra un foco de fuego localizado o pérdida del recubrimiento en algún sector, se originan calentamiento localizado de las armaduras, el acero transmite rápidamente el calor, produciendo dilatación en las barras en zonas en las que el concreto está relativamente frío, produciendo así compresiones que superan ampliamente la capacidad resistente del concreto que se microfisura en la zona tubular que envuelve a la barra, mientras las temperaturas permanecen altas el acero sigue comprimiendo el concreto y aunque puede quedar oculto en el descenso en la capacidad del anclaje, las condiciones de adherencia estarán irreversible y gravemente dañada. (Fig.9)

**Figura 9 Alteraciones producidas en adherencia concreto acero.**



Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, reparación, refuerzo y protección. (P. 31).

### Deformaciones impedidas.

Cuando en una estructura aparecen zonas con altas temperaturas, esta responde al incremento de temperatura con un aumento en la longitud de los elementos afectado, así aparecen esfuerzos importantes en la cabeza de las columnas por dilatación de las vigas que concurren a ellas o en las paredes cuando soportan losas afectadas.

### Gradiente térmico

Cuando una pieza de concreto se calienta, aparece un gradiente de temperatura medio que genera una deformación diferencial en las distintas secciones de losas y vigas, si este alargamiento no está limitado se produce un aumento de las flechas, si está limitada en los extremos se produce un aumento de los momentos negativos.

Figura 10 Daño producido en las estructura de un edificio.



Fuente: **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, reparación, refuerzo y protección. (P. 33).**

Al aumentar los momentos negativos se incrementa las profundidades en las zonas comprimidas, como por ejemplo aquellos próximos a los apoyos de las vigas, teniendo en cuenta que su módulo de deformación es inferior a las iniciales esto

va en contra de la ductilidad de la sección necesaria para la nueva distribución de momentos flectores para descargar el aumento de los momentos negativos, con lo que se puede producir el aplastamiento con rotura frágil del concreto, produciendo a una estructura de concreto un daño tal que haga perder la estabilidad.

### 3.4.11 Análisis de los daños.

Algunas de las causas pueden ser fáciles de identificar dependiendo esto del tipo de lesión pero algunas requieren de un análisis minucioso, algo que influye mucho para identificar la causa es el tiempo que transcurrido desde la aparición de la lesión, entre mayor sea este mayor será la dificultad.

Cuando se ha identificado la lesión se debe tener claro que el objetivo de tratar los daños es más que cubrir los defectos el devolver al elemento su funcionalidad siempre y cuando sea posible. Toda estructura tiene un periodo de vida útil dependiendo de la función que se vaya a dar a esta, aunque también las estructuras de concreto reforzado tiene la ventaja de que son diseñadas con un margen de seguridad que puede mantener la estructura en pie aun cuando haya sido sometida a cargas superiores a las de diseño.

Conociendo la resistencia del concreto y el escaso mantenimiento existen algunas causas que nos pueden llevar a realizar un análisis de daños entre ellas podemos encontrar el aumento en las cargas a las que está sometido el edificio, dudas sobre el estado de la estructura, y la degradación.

El primer paso en crear las hipótesis de las posibles causas de los daños después se debe indagar sobre los materiales utilizados en la construcción y una revisión de los cálculos para asegurarnos de que uno de los motivos no sean los cálculos erróneos ya que esto ha provocado el colapso de estructuras.

Observación estudios previos y diagnóstico estas son las tres etapas fundamentales para el diagnóstico.

### 3.4.12 Grietas.

En las construcciones de hormigón armado, todos cuantos defectos se originen en el cálculo o en la ejecución se manifestaran en forma de grietas. Por lo tanto es conveniente tener un criterio definido de las causas que dan origen a la formación de grietas en las estructuras, para determinar por simple inspección el origen, importancia y reparación de las mismas.

Grietas sin importancia: En el concreto a menudo se presentan algunas grietas que por no tener repercusión en la resistencia de las piezas a las que afectan no se consideran de gran importancia; las principales causas que dan origen a grietas de este tipo son:

- Los efectos de retracción.
- Dilatación del concreto durante y después del proceso de fraguado.
- Defectuosa calidad del cemento.
- Mala dosificación o mala ejecución del concreto.
- Flechas excesivas.
- Recubrimiento insuficiente de los estribos.
- Temperaturas elevadas que produzcan una rápida desecación del concreto.

Las grietas producidas por las faltas citadas, suelen ser superficiales en la mayor parte de los casos, y por lo tanto, el único peligro que se presentara será la destrucción de la armadura por los agentes atmosféricos, humos, vapores o sustancias que puedan hallarse en contacto con el concreto.

Grietas importantes: Estas en general son debidas, a falta de resistencia de las piezas y pueden producirse, ya sea por insuficiencia de la sección metálica, o por insuficiencia de la sección de concreto.

Distinguiremos tres grupos:

- Grietas originadas por flexión.
- Grietas originadas por asientos de apoyos.
- Grietas originadas por el esfuerzo cortante.

### **3.4.12.1 Grietas originadas por flexión.**

Estas a su vez pueden ser provocadas por dos motivos y son las deficiencias de los elementos que componen el concreto reforzado. Primer causa puede deberse a deficiencias en la sección metálica y la segunda puede ser la deficiencia en el concreto.

Estas grietas se localizan en las zonas centrales de los elementos donde la flexión afecta más los elementos y se encuentran en la parte inferior. Mientras que aquellas que son provocadas por las deficiencias del concreto se encuentran en las zonas de compresión del elemento o sea generalmente en las partes superiores.

Pueden originarse por las dos causas antes indicadas.

- a) Insuficiencia de la sección metálica: Se manifiestan siempre en los bordes de las piezas sometidas a tracción, hallándose por lo general en las zonas máximas de momento flector; es decir en el centro de las vigas apoyadas, en los apoyos y centro de las vigas empotradas.
- b) Insuficiencia de la sección de concreto: En este caso, las grietas se manifiestan en las partes comprimidas, produciéndose un desconchado del concreto y se localizan en las zonas de momento máximo, en general, en el centro de las piezas apoyadas, en los arranques y en el centro de las piezas empotradas y en el apoyo de las ménsulas.

### **3.4.12.2 Grietas originadas por asientos de un apoyo.**

Las características o la forma en que se presentan en el elemento son similares a las de un apoyo que cede, el elemento que esta sobre los elementos que no ceden presenta grietas en la parte superior y el otro en la parte inferior.

La deformación producida por el descenso de un apoyo, es igual al que se obtendría por la acción de un apoyo opuesto, luego las grietas que se producirán en este caso serán:



- a) Por insuficiencia de la sección metálica: Grietas en la parte inferior de apoyo que cede y en la parte superior de apoyo opuesto.
- b) Por insuficiencia de la sección de concreto: Grieta en la parte superior del apoyo que cede y en la parte inferior del apoyo opuesto.

### 3.4.12.3 Grietas originadas por el esfuerzo cortante.

La causa de este tipo de grietas es la insuficiencia de los varillas de refuerzo o por su mala colocación, estas grietas aparecen de forma inclinada hacia el centro de las vigas es conveniente para prevenirlas que el diseñador plasme claramente la posición e inclinación de las barras de acero de refuerzo. Y el constructor por su parte asegurarse de que se coloquen de acuerdo a lo planteado en los planos.

Debe de darse una separación adecuada tanto esta como la posición deben seguir los reglamentos constructivos del país en el que se construye.

Estas grietas de deben siempre a insuficiencia de la sección metálica por defectuosa disposición de las barras inclinadas y estribos, o porque su sección sea menor que la necesaria para resistir las tensiones a  $45^\circ$ , que originan el esfuerzo cortante.

Las grietas aparecen en los apoyos inclinadas a  $45^\circ$ , con una dirección ascendente hacia el centro de la viga.

Es usual que en las obras de concreto aparezcan grietas o fisuras:

Algunas a temprana a edad, Otras después de endurecido el concreto, Y otras durante su período de servicio, que ya sean independiente o en conjunto pueden proporcionarla, ya sea por problemas en el diseño de la mezcla, o porque el concreto no alcanzo la resistencia requerida, alteración de las cargas en el diseño, exposición a agentes agresivos no considerados en el diseño, errores constructivos entre otros.

Por lo general para que una grieta se produzca los agentes debe de generar esfuerzos a tensión que supere la resistencia del concreto a dichos esfuerzos, y la

tasa de resistencia del concreto a tensión depende a su vez de la tasa de aplicación de los esfuerzos, la durabilidad del concreto y de la edad.

Los agentes causantes de las grietas y fisuras (de los problemas patológicos en general) pueden ser varios: Cargas, variaciones de humedad, variaciones térmicas intrínsecas y extrínsecas al concreto, agentes biológicos, incompatibilidad de materiales, agentes atmosféricos entre otros.

Todos estos agentes están asociados a una o más acciones que actúan sobre la estructura de concreto, es de vital importancia determinar la causa que lo origina para dar una correcta solución, si uno no toma en cuenta la causa o acción que generó la grieta, ni se toman en cuenta las medidas necesarias para reforzar la estructura o limitar las sobrecargas y aun así se decide reparar; la grieta saldrá nuevamente cerca de la grieta original.

Una situación singular la constituyen las acciones que pueden generarse durante la ejecución: Remoción prematura de los puntales., Solicitaciones que se generan durante el transporte y/o montaje de prefabricados, en ambos casos aparecen grietas que no responden a la respuesta de la estructura ya terminada bajo la acción de las acciones funcionales o ambientales en general, malos procesos constructivos.

Los agentes internos que causan agrietamiento en el concreto pueden ser: Por asentamiento plástico, por contracción plástica, por contracción térmica inicial, contracción por secado, reacción alca-sílice y deformaciones impuestas.

Las grietas en una forma sencilla de explicarlas son una manifestación visible de los errores de cálculo errores en la ejecución a incrementos de cargas. Las grietas pueden ser sin importancia, estas son las que no afectan la resistencia de los elementos, los efectos pueden ser los antes mencionados generalmente retracción, dilatación, mala dosificación variaciones de temperatura etc.

Son sin importancia las grietas superficiales que no causan mucho daños por si solas pero su daño aumenta cuando agentes externos aprovechan para causar

mayores daños, es por esta razón que existe una capa de concreto que protege en acero de refuerza para evitar que los agentes externos puedan llegar hasta el acero, el cual es más susceptible a los elementos atmosféricos.

Las grietas de gran importancia son las que ponen en peligro la integridad de la estructura y su funcionalidad, estas llegan hasta el acero de refuerzo y en ocasiones pueden atravesar el elemento.

### 3.4.13 Acciones inducidas

#### 3.4.13.1 Fluencia

La fluencia del concreto se atribuye al efecto producido por las cargas actuantes en los elementos de concreto, la deformación por la fluencia del material analiza un mismo intervalo de tiempo, es proporcional a la tensión, es decir que para tensiones altas esta se pondrá en manifiesto con mayor intensidad.

El fenómeno de la fluencia del material hace que a veces se presenten daños en edificios de altura, al cabo de un tiempo se produce rotura en los tabiques de los ladrillos, esto también se da en edificaciones donde existen columnas proyectadas para soportar exclusivamente cargas gravitatorias fuertemente solicitadas, lo que en general están solicitados por tensiones permanentes mucho menores. Esto origina deformaciones elásticas y diferidas marcadamente distinta en ambos elementos estructurales y consecuentemente la flexión y a veces la fisuración de las vigas y losas.

Bajo contenido de humedad y una mayor relación de agua/cemento favorecen la fluencia lo mismo que el poner en carga la estructura cuando el concreto cuenta aún con una baja maduración.

#### 3.4.13.2 Asentamientos

Es una de las causas más frecuentes que generan la aparición de fisuras y daños en la estructura de concreto reforzado.

Cuando todos los apoyos en una estructura presentan los mismos desplazamientos verticales, la estructura no se ve sometida a ningún estado tensional adicional, en cambio si estos alcanzan valores diferentes, las consecuencias en las estructuras puede ser significativa tanto desde el punto de vista de su resistencia como de su durabilidad.

**Figura 11 Fisuras en columnas y paredes interiores producidas por los asentamientos de una de sus columnas.**



**Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, reparación, refuerzo y protección. (P. 48).**

Generalmente se denomina “Descenso de apoyo” a este corrimiento diferencial que sufre.

Los asentamientos diferenciales pueden ser originados por muchas causas entre las cuales están:

- 1 Errores en el proyecto o en la ejecución de las fundaciones.
- 2 Cargas no previstas en el proyecto original.
- 3 Deformación excesiva del suelo de fundación, no considerado en el proyecto.
- 4 Deformación excesiva localizada del suelo por aparición de alteraciones no previstas (inundación, vibración, erosión, socavación, etc.)
- 5 Fundación de una misma estructura sobre distintos tipos de suelos y/o utilizando distintos sistemas de cimentación o niveles de la fundación.
- 6 Alteraciones por construcciones vecinas.

- 7 Existencia de suelos expansivos.
- 8 Inyección del terreno en zonas próximas que genere un importante empuje vertical sobre la superficie de apoyo de la fundación (ascenso de los apoyos)
- 9 Fundación de pozos sobre terrenos desconocidos o rellenos mal ejecutados.

En algunos casos prácticos se puede obtener el riesgo de aparición de fisuras por asentamientos diferenciales, si se obtienen los valores de dichos asentamientos

### 3.5 CONCEPTOS Y DEFINICIONES.

**Abrasión:** Es el desgaste de una superficie por rozamiento y fricción. Mientras que para el concreto es la capacidad de resistir estos dos agentes externos.

**Concreto simple:** Concreto estructural sin refuerzo

**Deformación:** Se le llama así a las alteraciones en las formas del material, como consecuencia de esfuerzos mecánicos y se pueden producir durante la ejecución de la unidad, o cuando esta entra en carga.

**Elementos estructurales:** Son aquellos que soportan alguna carga o contribuyen de forma estructural. Entre ellos tenemos las vigas, columnas, zapatas, entrepisos, etc.

**Elementos no estructurales:** Estos son los que no tienen como función soportar cargas muertas (peso propio). Como los cerramientos elevadores, terminaciones, paneles etc.

**Esbeltez:** Es la relación entre la longitud efectiva de una columna y la dimensión del lado menor de su sección transversal.

**Estribo:** Refuerzo cuya función es soportar las fuerzas cortantes y de torsión en un elemento estructural. Con formas de U, L y rectangulares y colocados perpendicularmente al refuerzo longitudinal

**Evapotranspiración:** Es la cantidad de agua que puede evaporar un suelo y transpirar una cubierta vegetal continua.

**Erosión:** Es la pérdida o transformación superficial de un material ya sea total o parcial.

**Fluencia:** Indicación del esfuerzo máximo que se puede desarrollar en un material, sin causar una deformación plástica.

**Granulometría:** Es llamada así a la proporción de partículas de diversos tamaños que componen el agregado y se encuentra mediante el tamizado con siete mallas estándar según las normas ASTM C 33.

**Humedad relativa:** Es la relación entre la cantidad de vapor agua que se encuentra en una masa de aire en un momento determinado a una temperatura determinada y la que debería encontrarse para saturarla a esa temperatura. Es a dimensional aunque debería ser expresado como una fracción pero suele darse en porcentaje.

**Lesiones:** Son las manifestaciones de los problemas constructivos.

**Materiales inertes:** Se le denomina materiales inertes a todos aquellos materiales granulares (Gravas, arenas, Limos), utilizados en la realización del concreto , por no reaccionar con el cemento ni con agentes medio ambientales, de naturaleza inorgánica y de origen natural o artificial.

**Pérdida de Revenimiento:** Es un término que se acostumbra usar la disminución de consistencia (revenimiento), o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que se mezcla hasta su colocación.

**Porosidad:** En un cuerpo solido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen.

**Secciones críticas:** Son las secciones en las cuales cada tipo de esfuerzo calculado para la carga en cuestión alcanza su máximo valor.

**Sintomatología:** Es el conjunto de síntomas ó problemas que se presenta en este caso en estructuras verticales a lo largo de su construcción como de su vida útil.

**Trabe:** Viga de madera, cemento u otro material que sirve para reforzar y darle firmeza a una construcción; en particular para sostener techos, muros o la parte superior de las ventanas. Ver Viga.

**Lesiones físicas:** Son todas aquellas en que la problemática patológica se produce a causa de fenómenos físicos como heladas, condensaciones, Etc. Entre las más comunes podemos encontrar la humedad, erosión, y la suciedad.

**Lesiones mecánicas:** Estas son causa de las lesiones físicas, pero son consideradas una lesión más, para mayor entendimiento de estos procesos patológicos. Son consideradas lesiones mecánicas aquellas en las que predomina un factor que provoca desgaste, aberturas o separaciones de elementos constructivos.

**Lesiones químicas:** Son producidas a partir de procesos patológicos de carácter químico. Igual que las anteriores es nombrada de acuerdo al origen de las lesiones y es un poco confusa ya que sus síntomas tienden a ser confundido. Es difícil diferenciarlo de otro pero con una observación minuciosa pueden ser clasificarse como lesiones químicas

## **4. TRATAMIENTO Y RESTAURACIÓN.**

### **Metodología para reparación**

Durante el procedimiento para la rehabilitación de una estructura se debe seguir los siguientes pasos.

-Saneado del concreto.

-Limpieza y pasivación de las armaduras.

-Recuperación de la sección del concreto (En esta fase se aplican los morteros de reparación)

-Protección de la superficie reparada.

### **Protección superficial.**

Son los tratamientos tanto preventivos como temporales, con los que se pretende cubrir las lesiones o tratarlas temporalmente, una vez realizada la protección el elemento debe ser monitoreado periódicamente para verificar que no se vea afectada su funcionalidad.

Estos sistemas de protección se funcionan como una barrera contra el clima y los agentes atmosféricos que protegen de otro tipo de daños futuros, e impiden la filtración de humedades y hongos.

Entre los sistemas de protección superficial podemos nombrar:

- a) Revestimiento
- b) Pinturas de protección

a.) Se utilizan cuando el concreto ha sido afectado por agentes químicos o vapores agresivos o lesiones de naturaleza mecánica, en lesiones donde haya sido afectada en gran parte la superficie del concreto y puede ser cubierta con: ladrillos anticorrosivos, morteros de diferentes bases, cementos especiales, pinturas termoestables de alta temperatura etc.



El material que se use para protección de los elementos de concreto reforzado dependerá del tipo de lesión y de la gravedad de la misma.

b.) La principal función de este sistema es la de proteger los elementos de la contaminación de las zonas urbanas en donde la atmosfera contiene un sin número de contaminantes que deterioran los elementos de concreto y las fachadas de los edificios. Y existen dos tipos de pinturas:

*Revestimientos hidrófugos;*

*Revestimientos impermeabilizantes*

### **4.1 REPARACIÓN DEL CONCRETO CARBONATADO.**

Muchas veces las fisuras son problemas en el concreto, pero en ocasiones el daño a llegado hasta las barras de acero que son atacadas por agentes químicos, o exposición al ambiente que crea una corrosión expansiva y puede llevar a la inutilidad del elemento.

Estos daños en el acero no solo pueden presentarse en forma de grietas, si no que si la corrosión ha progresado mucho puede producir desprendimiento del concreto, por esta razón es mejor actuar antes que el acero sea alcanzado por la corrosión, pues en estos casos es difícil tratar de recuperar la funcionalidad.

Este método consiste en retirar el concreto que sirve de protección a las barras de acero en los lugares donde se encuentran las lesiones, al retirar el concreto afectado queda expuesta la armadura de acero de refuerzo y esta debe ser limpiada y protegida, aunque en ocasiones el daño llega hasta un punto dentro de las armaduras en estos casos se debe eliminar hasta encontrar el material que este sano, en estos casos se ofrece la ventaja que la armadura quedara completamente cubierta del nuevo material protector.

Para saber hasta qué punto ha llegado el daño en concreto puede extraerse una muestra mediante extracción de núcleo y una vez obtenida la muestra someterla al

ensayo de corrosión esto indicara hasta que punto a progresado el espaciamiento del concreto

### 4.2 REHABILITACIÓN

La evaluación de obras se puede dar en 3 partes, inicia con la evaluación primaria, la cual consta de un informe, luego una fase secundaria y para finalizar un proyecto de rehabilitación.

En el informe inicial se mencionan las condiciones de la obra, momento de materiales, componentes, daños, etc.

Para la correcta reparación de estructuras la EN 1504 hace hincapié en las siguientes fases:

- Evaluación de las condiciones de la estructura.
- Identificación de la causa del deterioro.
- Decisión de los objetivos de protección y reparación tomada conjuntamente con los propietarios de la estructura.
- Selección del principio o principios apropiados de protección y reparación.
- Selección de métodos.
- Definición de propiedades de los productos y sistemas (descritas en las normas EN 1504 Parte 2 – parte 7.
- Especificación de los requisitos de mantenimiento después de realizar la protección y reparación.

Durante su periodo de servicio las estructuras están propensas a sufrir incidencias lo que conlleva a una intervención para mejorar su apariencia y recuperar propiedades mecánicas o de ser posible incrementarlas. Y como pudo expresarse con anterioridad pueden ser variadas las causas de los problemas.

Además la norma EN 1504-parte 9 establece fundamentalmente 11 principios para la reparación y protección de estructuras:

1. Protección contra la penetración.

2. Control de humedad.
3. Restauración del hormigón.
4. Refuerzo estructural.
5. Resistencia al ataque físico.
6. Resistencia a los productos químicos.
7. Conservación o restauración de pasivos.
8. Incremento de la resistividad.
9. Control catódico.
10. Protección catódica.
11. Control de las áreas anódicas.

Estos 11 principios están encausados a solucionar las causas habituales de degradación que se aprecian en el esquema de este mismo nombre. Y como puede apreciarse en el anexo (X) dónde se plantean los métodos para cada principio.

Numeral 1. Reduce o previene la entrada de agentes agresivos como agua y otros líquidos, vapor, gas agentes químicos

Numeral 2. Ajustar el contenido de humedad del concreto dentro de un intervalo de valores especificados.

Numeral 3. Es la rehabilitación de una zona específica del concreto en un elemento estructural o el elemento, procurando la forma y función especificada en el concreto original.

Numeral 4. Trata del incremento de la capacidad del elemento a portar cargas o la restauración, según sea el caso.

Numeral 5. Simplemente es el incremento de la resistencia a los ataques físicos o mecánicos.

Numeral 6. Mediante el implemento de una serie de productos de recubrimiento protege e incrementa la capacidad resistente del concreto ante agentes químicos.

Numeral 7. Es un método que protege los refuerzos con el incremento de la superficie con mortero para crear las condiciones químicas que devuelva la superficie de la armadura a su condición pasiva.

Numeral 8. Incrementar la resistividad porosa del hormigón.

Numeral 9. Utilizar recubrimientos que creen condiciones en las que no se pueda inducir una reacción anódica.

Numeral 10. Uso de recubrimientos que provean de una compatibilidad óptima con el ánodo.

Numeral 11. Evitar reacciones de corrosión, bloqueando el paso de agentes agresivos (carbonatación, y cloruros)

Al elaborar una estrategia para recuperar el elemento se debe tener en cuenta que el principal enemigo no es el síntoma si no la causa y es esta la cual debe ser corregida, pues de nada sirve eliminar el síntoma sin la causa. Esta acción herrada conllevaría a la reaparición o incremento de su efecto negativo sobre la estructura.

Para ejecutar una intervención, ésta debe ser llevada a cabo por un técnico capacitado que previamente haya encontrado el origen de los síntomas y planificado una estrategia acorde al problema a enfrentar. Una vez seleccionado el método idóneo debe verificarse la compatibilidad de los materiales que serán usados en el tratamiento o reparación con los materiales existentes en la obra debe valorarse esta propiedad al menos en propiedades físico-mecánicas como:

- Coeficiente de dilatación térmica
- Módulo de elasticidad
- Propiedades geológicas (retracción y fluencia)

El sistema de reparación además debe tener adherencia muy buena al hormigón viejo, proceso de endurecimiento y curado no exotérmico, comportamiento adecuado frente a los requerimientos de la estructura (ambientales) según sea el

caso, resistencia frente a las radiaciones ultravioletas, esto conllevará a una contribución mayor del material de restauración al sistema estructural.

Existen dos tipos de fisuras, las llamadas fisuras muertas son las que no aumentan su ancho a lo largo del tiempo y las vivas las que por el contrario varían, las reparaciones dependerán del tipo de fisura que sea y de otra serie de factores que fundamentalmente son:

- Naturaleza de las fisuras: vivas o muertas
- Geometría de las fisuras: anchura y profundidad
- Estado de solicitaciones a las que estará sometida la estructura en el futuro.

Las fisuras que no se espere tengan movimientos en el futuro serán inyectadas mientras el resto deben ser selladas.

### 4.2.1 Sellado

El primer paso para el sellado de las fisuras es la limpieza general sellándola con masilla elástica. Antes de proceder con el sellado debe garantizarse la buena calidad del hormigón con el producto aplicado en las inmediaciones de la fisura.

Este proceso puede realizarse mediante una banda elástica que puntee o puede penetrarse la fisura con una masilla capaz de soportar los movimientos previsibles de la estructura.

### 4.2.2 Inyección.

Al igual que en el sellado previamente a tratar la fisura se debe procurar la limpieza de esta, posteriormente se colocaran los inyectores en su sitio, se sellara la figura finalizando con la inyección.

La presión de la inyección depende de varios factores como puede observarse en la siguiente expresión:

$$P = \frac{3 \times 10^4 \cdot \eta \cdot L \cdot (r)}{2 \cdot b^3 \cdot \Pi} \cdot Q \quad (2)$$

(Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas)

Dónde:

P: presión a la salida de la bomba. (MPa)

$\eta$ : Viscosidad dinámica del proyecto.(N/s.m)

r: radio del taladro de inyección.(cm)

2b: anchura de la fisura. (cm)

Q: caudal de inyección. (cm<sup>3</sup>)

### 4.2.3 Mortero de reparación

Hay muchos tipos de morteros de reparación con diferentes usos para estructuras de hormigón. Se emplean para reconstruir volúmenes perdidos de hormigón, desde masillas para espesores delgados hasta micro hormigones para grandes gruesos de reparación.

El mortero se puede aplicar tanto para restaurar la geometría y la estética de un elemento de hormigón, evitando a la vez futuros daños, como para restaurar su función estructural. Las propiedades de los morteros dependen mucho de sus componentes y su puesta en obra. Si no se escoge bien el mortero puede dar muchos problemas, sobre todo por la falta de adherencia que se puede producir entre el hormigón viejo y el mortero nuevo al fraguar el mortero y retraer.

La incorporación de resinas poliméricas a los morteros utilizados para recubrimientos rígidos produce mejoras en las propiedades del producto final. En estado fresco asegura la adherencia dado su poder de retención de agua, así como optimiza la trabajabilidad, otra ventaja es el disminuir los tiempos de maduración asegurando adherencia.

Aunque solo en la maduración es cuando recupera las características del mortero produciendo menor porosidad en la unión adhesiva característica que provee impermeabilización ya que disminuye el tamaño de poros.

Hay tres grandes grupos de morteros de retracción, según la composición de su conglomerante:

Los morteros de reparación pueden clasificarse de la siguiente manera en:

### 4.2.3.1 Morteros y hormigones hidráulicos

Los morteros y hormigones hidráulicos se componen de un conglomerante en polvo, generalmente cemento portland, y áridos, que al mezclarse con agua endurece por hidratación. A la mezcla, igual que en las obras nuevas, se le añaden diversos aditivos y fibras hacen que el producto final sea más resistente y duradero.

Son utilizados si las condiciones lo permiten entendiéndose son esto las aberturas o grietas, las cuales deben ser lo suficientemente grandes para poder aplicar el producto en la zona que se pretende reparar.

En caso de la aplicación de este material la relación agua cemento debe ser baja, las características o ventajas de este material están su bajo costo, fácil ejecución y se presenta como método idóneo en lugares donde se vaya a necesitar grandes volúmenes de material restaurador, mientras que entre las desventajas se pueden destacar, la necesidad de una película de imprimación para lograr una adecuada unión con el concreto viejo, requieren cierto tiempo para incrementar la resistencia.

### 4.2.3.2 Morteros hidráulicos poliméricos

La diferencia con el material mencionado anteriormente radica en las propiedades conferidas por el polímero, presenta mayor capacidad de adherirse al concreto, así como la resistencia a tracción y flexo-compresión, aunque permanecen invariables el módulo de elasticidad, y coeficiente de dilatación térmica.

En estos morteros el conglomerante, el cemento portland, está modificado con unos polímeros en un porcentaje en sólidos que está entre el 5% y el 20%. Esto favorece el proceso de aplicación y fraguado, y mejora las propiedades finales.

Las mejoras respecto a los morteros hidráulicos son la mayor adherencia con la superficie a reparar, menor permeabilidad al agua, menor permeabilidad al CO<sub>2</sub> (reducción de la carbonatación), mayor resistencia a ambientes ácidos y mayor resistencia a tracción y a flexo tracción. Generalmente estos morteros se preparan en fábrica, aunque se pueden preparar en obra. En casos muy especiales el cemento se puede modificar añadiéndole adhesivos epoxi.

### 4.2.3.3 Morteros poliméricos termoestables

Los MP llevan conglomerantes constituidos por unos polímeros líquidos, las resinas, que tras una reacción exotérmica solidifican y se transforman en un polímero termoestable. Las resinas más comunes son las epóxicas, aunque también se emplean otras como las acrílicas reactivas.

El principal uso de estos morteros es para el anclaje de elementos metálicos. Los morteros epoxi varían mucho según sus componentes. Hay tres grandes grupos: los morteros epoxi no estructurales, los morteros epoxi estructurales, y los morteros epoxi para suelos.

Estos a su vez se clasifican en dos tipos dependiendo del tipo de polímero:

### 4.2.3.4 Mortero de resina de poliéster

El uso de estos materiales está limitado por su precio y cantidad aunque tienen capacidades mecánicas muy buenas y las logran en periodos de tiempo corto, su precio es más alto que el de los morteros, de estos morteros poliméricos termoestables el menos utilizado es el que contiene la resina de poliéster aunque tiene la ventaja de no necesitar imprimación como los otros, además de un rápido endurecimiento.



Tomaremos como un acápite aparte el mortero y hormigón proyectado. En este proceso el concreto o mortero se proyecta a gran velocidad, esta mezcla relativamente es seca, similar al tratado con anterioridad provee de impermeabilidad para proteger el refuerzo.

El material proyectado puede usarse húmedo, semi-húmedo o seco, el procedimiento por vía seca, el agua no es incorporada sino hasta en la boquilla de proyección, mientras viaja en la manguera solo están los materiales secos arena, grava y cemento (tamaño máximo de los agregados no debe ser superior a los 8mm).

Mientras la proyección húmeda esta dosificada previamente con agua incorporada igual que una mezcla de concreto regular y es más utilizado pues brinda mejores condiciones para los operarios (generalmente 3), quienes estarían expuestos al polvo en caso de administración de concreto por vía seca.

Para la proyección seca es preferible utilizar maquinaria antes que personal método más complejo que los otros dos en cuanto a procedimiento.

El sistema semi húmedo es similar al de las mezclas secas con la diferencia que el agua en vez de ser ingresada al momento de ser expulsada por la boquilla es integrada a la mezcla 5 metros antes de su expulsión, Debe humedecer los aridos hasta un 10 %.

#### **4.2.4 Sistema húmedo**

El concreto o mortero es mezclado con agua desde el inicio y no es agregado después de mezclar los agregados, la proporción es conocida, se consigue mezclas manejables.

## **5. PRUEBAS Y ENSAYOS**

### **5.1 PRUEBAS PARA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO:**

El concreto en estado fresco es el recién preparado desde el momento en que es agregada agua a los materiales secos, en este estado es una mezcla plástica y moldeables capaz de adaptarse a la forma del encofrado. Las propiedades en este estado son; trabajabilidad, consistencia, segregación, exudación, tiempo de fraguado, peso unitario, uniformidad.

La trabajabilidad es afectada por la granulometría tanto como el contenido de cemento y agua, mientras una granulometría discontinua exige una mayor cantidad de agua para igualar esta propiedad en comparación a la de granulometría uniforme.

Aunque una forma de mejorar la trabajabilidad del concreto es el uso de aditivos fluidificantes o incorporadores de aire, hay que tomar en cuenta que la mayor cantidad de agua y aire reduce la resistencia del concreto.

Estas pruebas permiten verificar la calidad del concreto, con lo que se garantiza realizar los procedimientos constructivos adecuados y a través de esto planificar mejoras tanto para la mezcla como para planificar el colado de la mezcla.

- Determinación del revenimiento.
- Determinación de la masa unitaria.
- Determinación del contenido de aire

### **Consistencia**

Este ensayo consiste en verter concreto en un molde cónico y es el método más utilizado, debido a su rapidez y efectividad aunque no es el único además de este existen otros métodos menos conocidos como el medidor k de revenimiento muy

parecido a una jeringa con una serie de huecos en el que se mide la cantidad de concreto húmedo que se introduce en los agujeros.

Esta propiedad del concreto depende de la cantidad de agua en la mezcla y se mide mediante el ensayo establecido por la norma ASTM C172, Cono de ABRAMS cuyo procedimiento se encuentra más adelante.

Existen factores que disminuyen la consistencia de la mezcla como los agregados de perfil esférico así como el emplear partículas de agregado grueso de textura superficial suavizada.

Procedimiento del cono de Abrams:

Llenar concreto en 3 capas dando 25 golpes por capa en un molde de forma cónica (20cm diámetro inferior, 10cm de base superior y 30cm de altura), la última capa se debe llenar hasta un poco más de la capacidad del cono para enzararlo. Una vez completado estos pasos se debe retirar el molde en forma vertical y así poder medir la diferencia entre la altura de la mezcla y la del molde.

### Determinación de la masa unitaria

Masa neta del concreto (kg)= masa (recipiente + concreto) x factor del recipiente

Masa unitaria real (kg/m<sup>3</sup>)= masa neta del concreto x factor del recipiente

### Determinación del contenido de aire

Contenido de aire =  $\frac{\text{volumen producido} - \text{volumen absoluto de ingredientes esados}}{\text{volumen producido}} \times 100$

...(3)

Mediante este método se puede conocer el contenido de aire en la mezcla ya sea atrapado como incluido, es importante conocer el contenido de aire en la mezcla pues con su incremento se reduce la resistencia del material.

La mezcla debe ser descartada Si no se estabiliza en 6 minutos, si hay mas presencia de espuma equivalente a 2 divisiones,

### 5.2 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO:

- Estudio petrográfico en muestras de concreto endurecido.
- Módulo de elasticidad con extensómetro.
- Módulo de elasticidad con Strain-gages.
- Determinación de la contracción por secado en barras de concreto.
- Determinación del coeficiente de deformación diferida.
- Ensaye a la flexión de vigas de concreto.
- Estudios de fuego.
- Resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto.
- Determinación del contenido de cemento en muestras de concreto endurecido.
- Prueba para determinar la adherencia de las capas superficiales del concreto utilizando el dispositivo como "Pull off".
- Determinación de la masa especifica absorción y contenido de vacíos en muestras de concreto endurecido.

Pruebas no destructivas:

- Determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro.
- Determinación de la velocidad de pulso; método del ultrasonido.
- Determinación del índice y potencial de corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto utilizando un electrodo de referencia de cloruro de plata.
- Localización del acero de refuerzo en trabes, columnas y losas utilizando un detector de acero de refuerzo (pachómetro).

### **Prueba del martillo de rebote (ASTM c 805)**

También es conocida como prueba del martillo de impacto, inventado por Ernst O Schmidt (alrededor de 1950), es un método muy práctico realizado sobre edificaciones, este método es basado en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie que golpea, es uno de los métodos más usados en la determinación rápida de la condición de un elemento estructural.

Esencialmente está formado por una masa que es impulsada por un resorte, el cual aplica sobre la primera una cantidad definida de energía, se coloca el aparato presionando la superficie del elemento a probar, al liberarlo esta masa rebota con lo que puede medirse la distancia recorrida, expresado en un cierto porcentaje de la extensión del resorte (número de rebote).

### **Prueba de resistencia a la penetración (ASTM c-803)**

También es conocida como prueba de Windsor esta calcula la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de una varilla de acero impulsada por pólvora al igual que un arma basada en que la penetración es inversamente proporcional a la resistencia del concreto a la compresión, con la limitante de conocer la dureza del agregado. Para lo cual se utiliza la escala de Moh.

### **Prueba de extracción (ASTM c-900)**

Este método mide por medio de tensión la fuerza necesaria para retirar una varilla de acero, con un acero de mayor sección transversal previamente empotrada. Durante el proceso se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello está relacionada con la resistencia a la compresión del concreto.

La fuerza de extracción se calcula mediante la relación de la fuerza para extraer la varilla con el área idealizada del cono truncado. Esta prueba es muy importante para obtener los valores de resistencia a compresión del concreto pues a diferencia de la prueba con el esclerómetro presenta valores más precisos y permite realizar mejor otros análisis como los de carbonatación.

## **Prueba de ruptura**

Al igual que las dos pruebas anteriores en esta es una comparación de la fuerza necesaria para causar un efecto sobre el concreto con la diferencia que esta mide la fuerza necesaria para realizar un corte (Johasen 1979).

## **Velocidad de pulso ultrasónico**

Verdaderamente los valores obtenidos de ensayos para los que se prepara una muestra no son completamente representativo del elemento pues existen factores que influyen además de las propiedades de los materiales y la mezcla pues depende también del encofrado, vibrado, colocación, y otros, parte del proceso y no de la mezcla.

Esta prueba proporciona un estimado de la uniformidad, calidad, o resistencia a la compresión del concreto, además de grietas y otras imperfecciones.

## **Medidor de humedad (ASTM d-3017)**

No es un método de ensayo si no un instrumento que se utiliza en campo en la evaluación de los daños para conocer un aproximado de la humedad en elementos de concreto reforzado.

## **Refuerzos**

Cuando de acuerdo a las observaciones y pruebas realizadas se determine que el elemento necesita refuerzo de las estructuras para recuperar o incrementar su capacidad pueden tomarse las siguientes medidas:

- a) Cambiar el hormigón existente por uno de mejor calidad.
- b) Aumentar las secciones transversales de los elementos
- c) Aporte de nuevas armaduras (chapas), superficiales
- d) Aporte de nuevas armaduras embebidas
- e) Prensados exteriores
- f) Cocidos locales

- g) Etc.
- a) Aunque no es un procedimiento muy habitual, la sustitución del hormigón es un método de reparación, en el que se añaden nuevos elementos estructurales con el propósito de obtener propiedades similares o superiores a las existentes y que sustituyen la función estructural.
- b) Es más habitual que el anterior el principal propósito es incrementar la capacidad mecánica del elemento con el incremento de las secciones de concreto de buena calidad.
- c) Este procedimiento se realiza cuando no es posible cuando no se considera conveniente que la armadura.
- d) A diferencia del inciso c en este el refuerzo se produce de forma interna y después se finaliza con el llenado de concreto de la superficie para cubrir de esta forma las chapas.
- e) Es una colocación de camisas de bandas de fibras de carbono para refuerzo
- f) Son bandas de fibras de carbono en matriz de polímeros y es parecido a los refuerzos con chapas encoladas.

## 6. ESQUEMA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

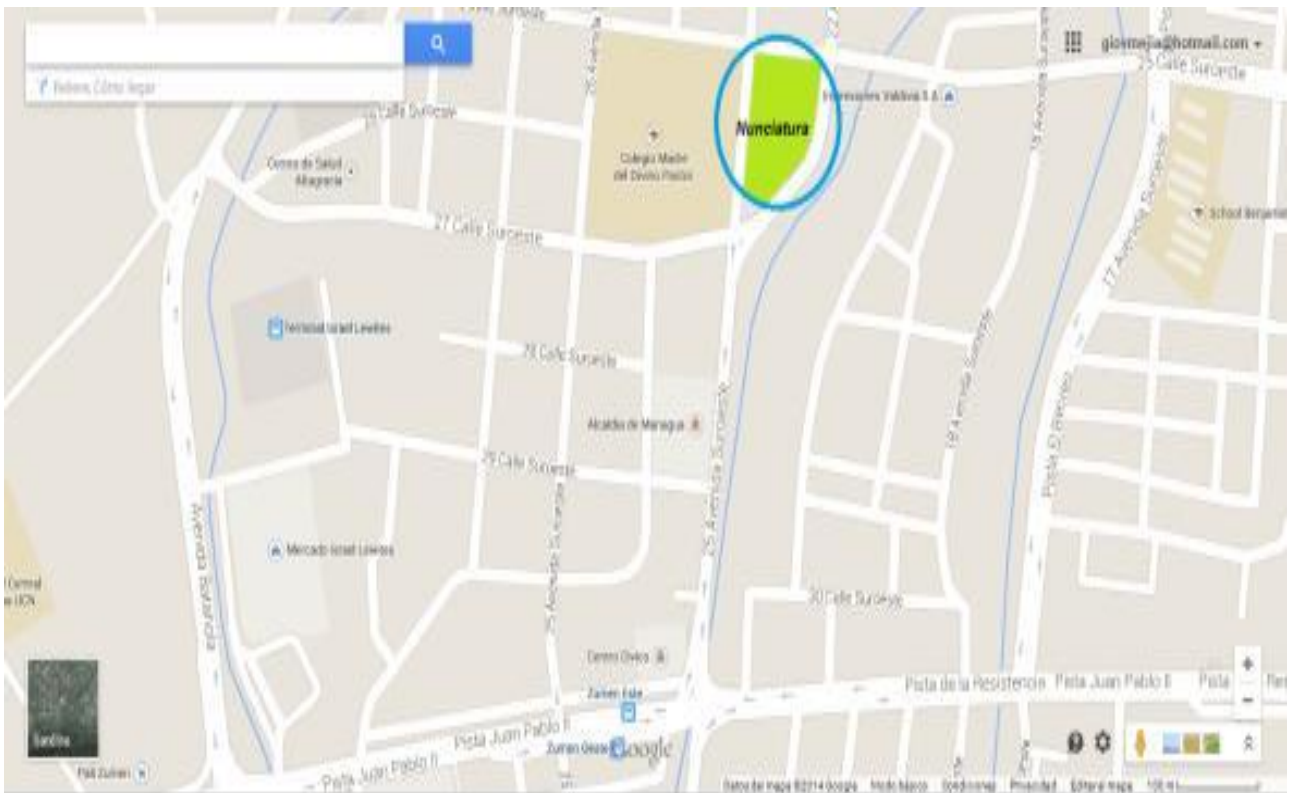
### PROCESO

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados para esta investigación se basara en la ejecución de las actividades como se detallan a continuación:

En primera instancia se indagara en lo referente al diseño de la estructura de la ANTIGUA NUNCIATURA APOSTOLICA DE MANAGUA, y ver si se cuenta con los planos, estudios y si durante su vida útil se ha realizado alguna evaluación de los daños después del terremoto de 1972 u otro tipo de estudios. Así como averiguar si cuentan con estudios de suelos reporte de daños, y el mantenimiento que ha tenido la estructura durante el tiempo de servicio.

### 6.1 INSPECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DEL SITIO

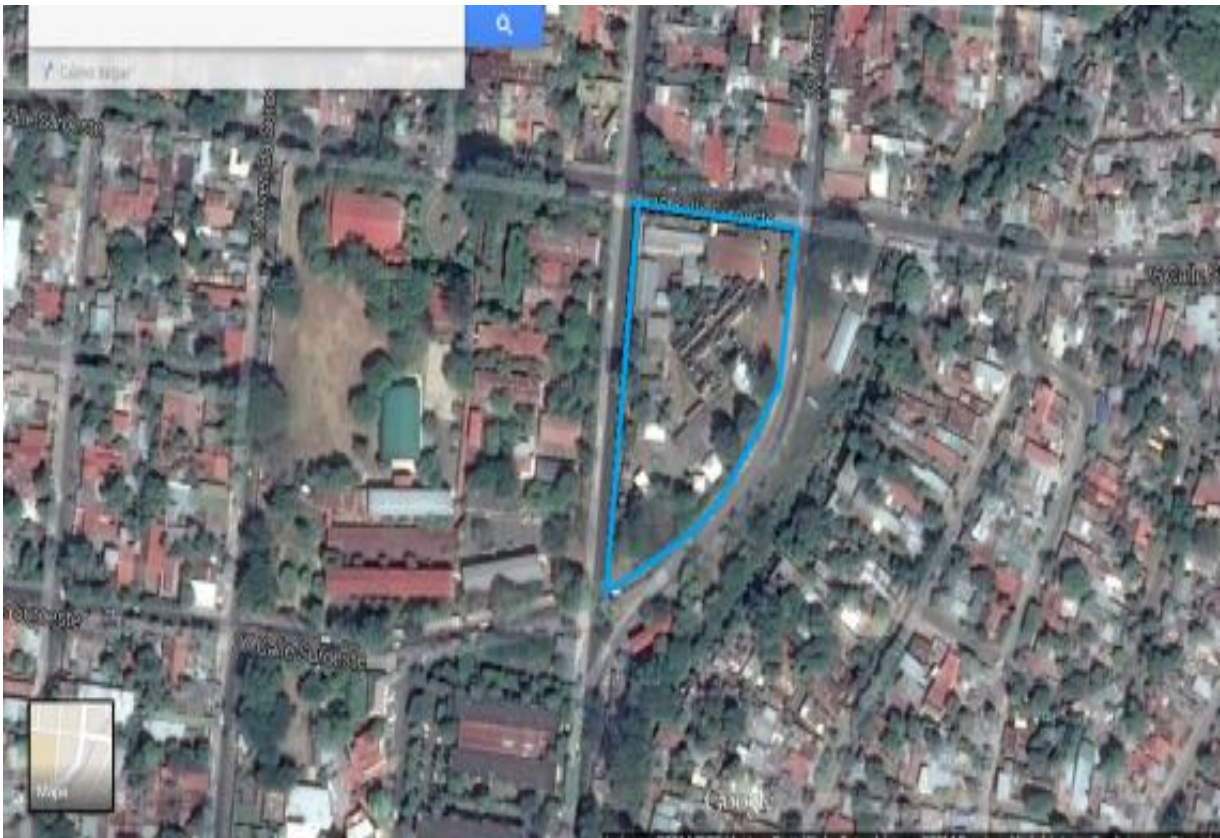
Figura 12 Ubicación de la Nunciatura Apostólica.



Fuente: Fuente: Google Earth



**Figura 13** Fotografía Aérea del sitio



**Fuente:** Google Earth

Esta etapa inicia con un recorrido por la estructura (ver anexos III inciso e) para tratar de tomar la mayor cantidad de información que sea posible, mediante la observación y la toma de imágenes en los puntos afectados y de paso localizar los daños, he ir calificando los síntomas en la estructura, con la elaboración de fichas donde se identifiquen los daños, localización y severidad de los mismos.

Durante esta misma actividad se verificara la información con la que se cuenta (si existiera), en lo referente a las medidas tanto de las áreas internas como de la distribución de los espacios, el fin con el que fueron diseñados y la utilidad que tuvo.

### **Evaluación mediante ensayos y pruebas mecánicas:**

Una vez realizada la inspección visual se realizarán los ensayos mecánicos ya sean destructivos o no con el fin de evaluar las propiedades en los elementos estructurales y el material, esto según sea indicado por el tutor y en base a los daños observados y la severidad de estos. De los ensayos se obtendrá la resistencia a compresión del concreto y el módulo de elasticidad del mismo.

### **Análisis de severidad de los daños y elaboración de diagnóstico:**

En esta etapa se trabajará con los datos obtenidos en las etapas anteriores mediante análisis se determinarán cuáles son las patologías existentes en la estructura y elaborar un diagnóstico de las mismas indicando el daño que causan a la funcionalidad del edificio.

En caso de ser necesario evaluar la estructura mediante un modelo dinámico, lo cual será un complemento muy importante en la evaluación de la estructura en su conjunto, y considerar si la estructura presta las condiciones para continuar prestando servicios.

### **Formulación de propuesta de restauración:**

Con el fin de restituir las propiedades iniciales de la estructura y utilizando las herramientas e información con que se cuenta en esta etapa final se establecerá una propuesta de restauración de acuerdo a los daños con que cuenta el edificio, y acorde a la patología presente, para restituir la resistencia inicial del elemento o reforzar la estructura en caso de ser necesario. Recuperar la estructura del abandono en forma segura y ponerse en contacto con la alcaldía para considerar la viabilidad de las posibles soluciones.

## **6.2 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN SEGÚN RNC-07 PARA SISMOS**

Con el objetivo de de un análisis que considere la solicitud de las cargas reales de los elementos estructurales en el edificio de la Antigua Nunciatura Apostólica de Managua, es necesario tomar en cuenta las cargas de servicio como lo son; Cargas muertas, Cargas vivas; así como también aquellas cargas que pueden

generar desplazamientos y deformaciones mayores a las presentadas bajo las condiciones de servicios, aunque por su naturaleza no se encuentren siempre presente. Este especialmente corresponde a los efectos por sismo y de viento que se aborda las formulas de diseño y fundamento teórico estipulados para las cargas de sismo.

### 6.2.1 Calculo de aceleración sísmica según RNC-07

En el titulo II cap. I del RNC 07 se encuentra las normas mínimas para determinar cargas debidas a sismo, en base a esto se encuentran los factores para un diseño que permita a la estructura resistir las cargas sísmicas a las que probablemente tendrá que ser sometido, en este caso se trata de una estructura la cual ya estuvo sometida, tanto a sismo como a terremotos de gran magnitud uno de los cuales destruyo el antiguo casco urbano de la ciudad de Managua.

Esta edificación ha demostrado ser capaz de soportar terremotos como el de 1972 y en el que la actualidad sacudió nuestro país, a pesar de estar en una zona altamente sísmica pues está localizada en un área cercana al antiguo casco urbano de esta ciudad, la cual está cercana a fallas i

El Reglamento Nacional de la Construcción en el capítulo 20, establece tres tipos de estructuras para efectos de diseño estas se clasifican en 3 grupos según la importancia de la edificación (grupo A, grupo B, grupo C): donde el grupo A contempla las estructuras de mayor importancia, mientras las del grupo c son aquellas que no causarían daño a personas.

Las estructuras del grupo B, “Son aquellas en el que el grado de seguridad requerido es intermedio...” (RNC-07) entre la caracterización de este grupo cabe La Antigua Nunciatura Apostólica, por lo tanto en adelante se tomaran los factores para los cálculos consiguientes teniendo en cuenta la importancia como lo describe el Reglamento.

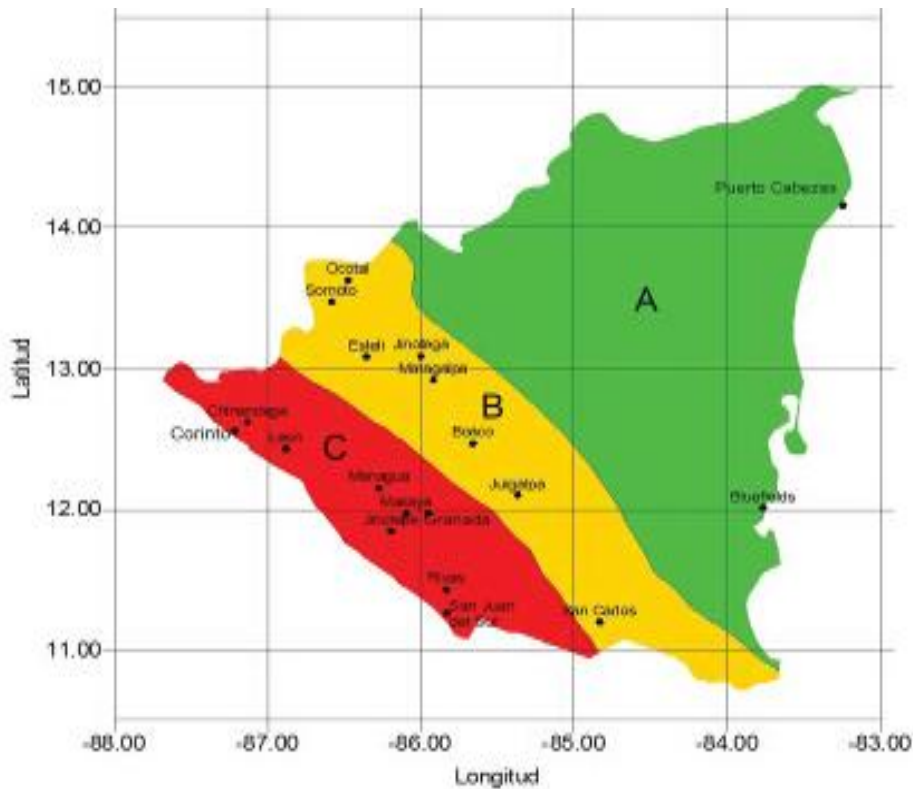
De la misma manera en que el Reglamento clasifica las estructuras en grupos también, lo clasifica en zonas según actúan las fuerzas sísmicas. En Nicaragua es

conocido que la zona pacifico se encuentra expuesta a mayor intensidad sísmica pues es una zona volcánica, esta zona está cercana al cinturón del fuego del pacifico, en los últimos días ha estado en constante actividad tanto de las placas tectónicas como por actividades volcánicas, inclusive algunas de las fallas que estaban inactivas se reactivaron entre ellas la que provoco el trágico terremoto de 1972.

El Antiguo Nuncio Apostólico está localizado en la ciudad de Managua y de acuerdo a la Figura 14 está situado en la zona C.

En lo concerniente al factos de comportamiento sísmico expresado como Q se establece una serie de limitaciones y esta estructura esta dentro de ellas por las características estructurales del edificio cumple con lo establecido para un valor de  $Q=4$ .

**Figura 14** Mapa de zonificación sísmica de Nicaragua (RNC07).



Fuente: Reglamento nacional de la construcción, 2007 (p.)

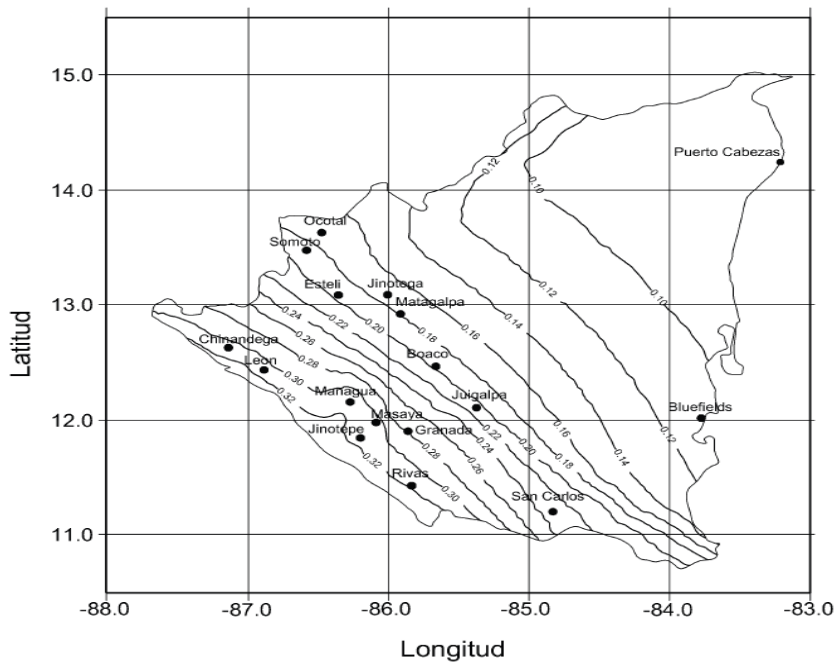
El artículo 22 establece el factor de reducción por sobre resistencia con un valor de  $\Omega=2$ .

El artículo 24 establece el cálculo del coeficiente de diseño sismo resistente. El coeficiente sísmico de una estructura se calcula para el método estático equivalente:

$$C = \frac{V_0}{W_0} = \frac{S (2.7 * a_0)}{Q * \Omega} = \text{pero nunca menor que } (s)(a_0) \quad (5)$$

El valor de  $a_0$  se obtiene del mapa en la figura 15 puede verse una serie de líneas con valores de isoaceleraciones para estructuras del grupo B de acuerdo a la ubicación se tiene una estructura con una isoaceleración de 0.305

Figura 15 Mapa de Isoaceleraciones



Fuente: Reglamento nacional de la construcción, 2007 (p.)

El valor de Q debe de reducirse según lo establece el reglamento es su artículo 23 inciso D. El valor de reducción depende de la regularidad de la estructura en este caso se utilizara un valor de 0.8 por consiguiente se obtiene el valor de Q`.

$$Q' = Q \times 0.8 \quad (6)$$

$$Q' = 3.2$$

Según lo establecido en el art.25 el suelo puede estar clasificado en 4 tipos que van desde suelos muy blandos hasta afloramientos rocosos. Esta clasificación cabe en ausencia de estudios de suelo.

El suelo tipo III será utilizado para los cálculos, esta clasificación es para suelos moderadamente blandos con velocidad promedio de onda que está entre los valores de 180m/s – 360m/s.

El valor de S puede encontrarse en la siguiente tabla en dependencia de la zona sísmica que se puede observar en la figura 14.

Factores de amplificación según tipo de suelo.

**Tabla 3 (tabla N°2 Art. 25 RNC-07)**

Zona sísmica	Tipo de suelo		
	I	II	III
<b>A</b>	1.0	1.8	2.4
<b>B</b>	1.0	1.7	2.2
<b>C</b>	1.0	1.5	2.0

Fuente: Reglamento nacional de la construcción, 2007(p.)

De los las cantidades en la tabla 3 se obtiene un valor S de 2, según el tipo de suelo.

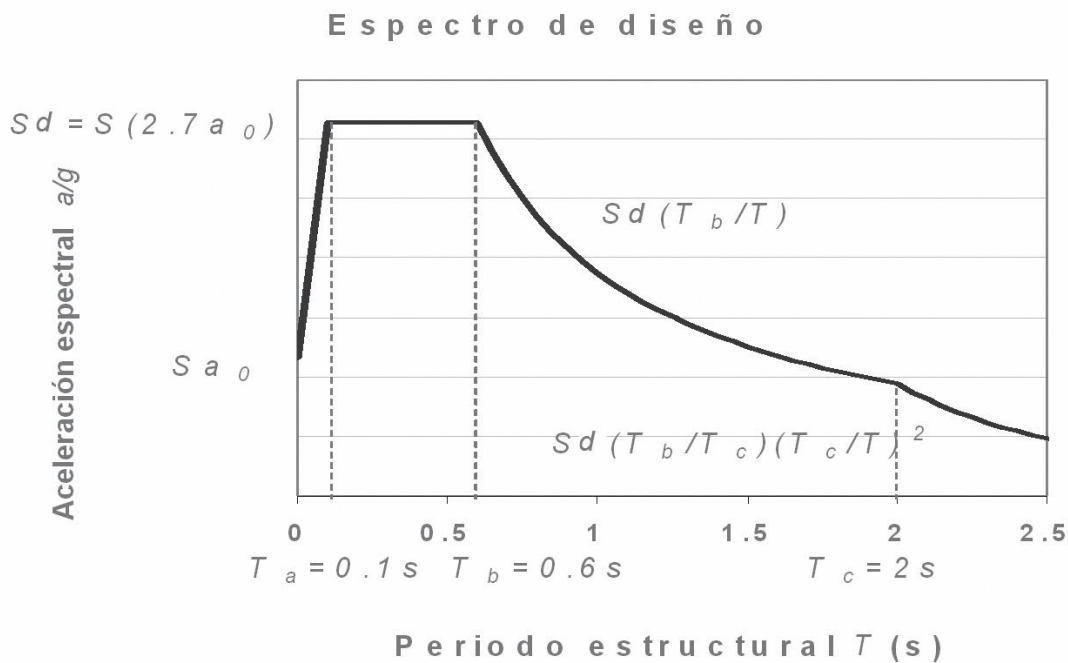
Con los datos necesarios puede calcularse el valor del coeficiente del diseño sísmico el cual es el un valor de la fuerza producida por un sismo.

$$C = \frac{2 (2.7 * 0.305)}{3.2 * 2} \quad (5)$$

$$C = 0.257g$$

El espectro de respuesta se calcula con los datos obtenidos según la figura 16, y como puede observarse establece los valores de  $S_d$ ,  $S_a$ , con los cuales puede formarse el espectro de diseño estructural en las abscisas se encuentran los valores de aceleración mientras en las ordenadas están los valores de periodos.

**Figura 16 Espectro de diseño según RNC-07**



Fuente: Reglamento nacional de la construcción, 2007 (p.)

Se puede observar tres distintos periodos que para Nicaragua tienen los valores  $T_a = 0.1$ ;  $T_b = 0.6$ ;  $T_c = 2$ .

Según lo establecido para el cálculo de espectros de respuesta se obtiene lo que puede observarse en la figura 16 para los que se tiene en el eje "Y" los valores de aceleraciones mientras en el eje "X" los valores para periodos que van desde un punto de partida "0" hasta un valor de 3s.

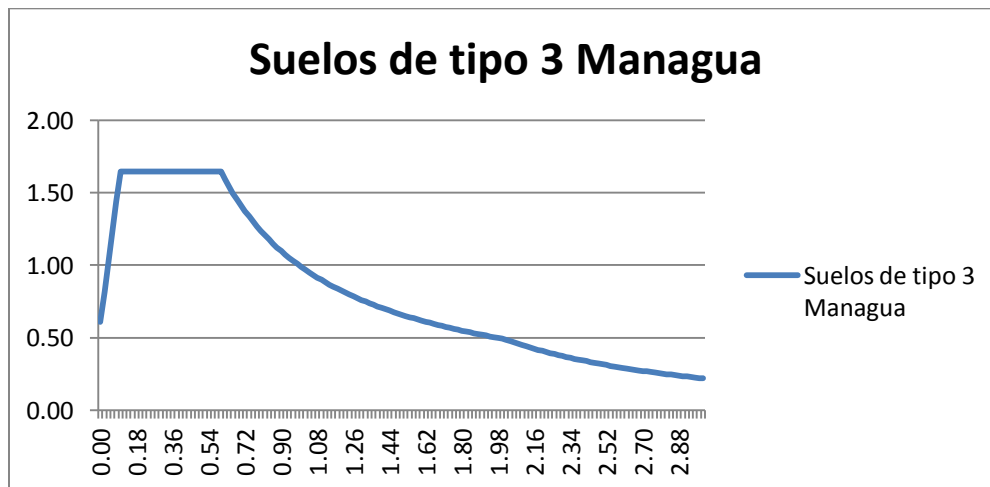
**Tabla 4 Resumen de datos para generar el espectro de diseño**

Parámetro	Valor
Tipo de suelo	III
Grupo Estructural	B
Factor de ductilidad (Q)	4
Reducción por irregularidad	0.8
Factor de reducción por ductilidad	2
Zona sísmica	C
Ampliación por tipo de suelo	2

Fuente: Reglamento Nacional de la Construcción, 2007 (p.)

La tabla 4 muestra los valores obtenidos de las normas nacionales de construcción para elaborar el espectro de respuesta.

**Figura 17 Espectro de respuesta para suelo tipo III.**



Fuente: Propia



**6.2.2 Calculo de cargas de servicio.**

Basados en el Reglamento Nacional de la Construcción, cuyo objetivo general, indica: "Que está hecho para establecer los requerimientos aplicables al Diseño y Construcción de nuevas edificaciones, así como la reparación y refuerzo de las ya existentes que lo requieran" (RNC-07, cap1.arto.1), según lo antes mencionado se seleccionan los siguientes valores para las distintas cargas de servicio.

Las Cargas vivas unitarias mínimas detalladas a continuación, se toman en base al uso para el cual fue destinada la estructura durante su diseño, en el caso de esta estructura, su propósito era ser utilizado como cuartos de servicio para el personal de la Nunciatura Apostólica.

**Tabla 5** Carga viva de servicio por metro cuadrado. (RNC-07 Arto.10, Tabla1)

Destino	Máxima (CV)	Incidental (CVR)
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, Internados de escuela, cuarteles, cárceles, correccionales)	200Kg/m <sup>2</sup>	80Kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Propia

Las cargas muertas se definen según el reglamento como: " Los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todo elemento que ocupan una posición permanente, y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo." (RNC-07 Arto.7)

**Tabla 6** Cargas muertas.

Cargas	Peso(Kg/m <sup>2</sup> )
Piso de oficina	83
Lámparas + accesorios	8
Instalaciones hidrosanitarios	6
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>

Fuente: Propia

**Tabla 7 Cargas vivas de techo. (RNC-07 Arto.10, Tabla1)**

Destino	Máxima (CV)	Incidental (CVR)
Techo de losa con pendiente no mayor de 5%	100 kg/m <sup>2</sup>	40kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Propia

**Tabla 8 Cargas vivas de techo. (RNC-07 Arto.10, Tabla1)**

Destino	Máxima (CV)	Incidental (CVR)
Residencial(casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuela cuarteles cárceles, correccionales	200 kg/m <sup>2</sup>	80kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Propia

**Para el techo solo se utilizara un valor de 8 Kg/m<sup>2</sup> como carga muerta.**

### **6.2.3 Calculo de presiones de viento.**

El viento es una fuerza que actúa constantemente sobre las estructuras que a la misma vez generan fuerzas de presión y succión denominadas barlovento y sotavento respectivamente la primera actúa en la dirección del viento y la otra esta generada por la succión que provoca el viento tras su paso.

A diferencia de las fuerzas provocadas por un sismo que se generan como hechos repentinos estas actúan constantemente sobre las paredes y techos de las estructuras las fuerzas generadas se transmiten a la estructura, por estas causas

el reglamento nacional de la construcción en el Título IV establece las Normas Mínimas Para Determinar Cargas Debidas a Vientos.

Existen diversos factores que inciden en la acción del viento en una estructura algunas dependen del terreno otras de la misma estructura pues en edificios de gran altura es necesario tomar en cuenta un análisis en túneles de viento donde se somete un modelo a escala y se observa como incide en la estructura de acuerdo a su forma, altura, etc. de esta forma pueden realizar variaciones en la forma del edificio que disminuyan las acciones del viento.



**Figura 18** Vista de la elevación de una de las fachadas de la antigua nunciatura apostólica, donde se aprecia poco sensible a las ráfagas de viento.

A continuación se presenta el cálculo según los criterios establecidos en el reglamento actual que establece el cálculo de presiones según las características del sitio.

**Clasificación de la estructura.**

Según el artículo 45 establece que las estructuras Tipo 1 son todas aquellas que sean poco sensibles a ráfagas de viento dentro de lo cual incluye las estructuras con un tipo de cubierta rígida aunque en la actualidad el techo de la nunciatura es inexistente contaba con un tipo de techo como lo indica este articulo, además la relación entre la altura y la longitud menor de la base debe ser menor que 5, en este caso el valor para esa relación es de 1.1895 como se plante a continuación.

Se comprueba que la estructura cumpla con lo que enuncia el reglamento que dice, “La relación entre la altura del edificio y su dimensión menor en la planta es mayor que 5” (RNC-07, arto44); como se detalla a continuación:

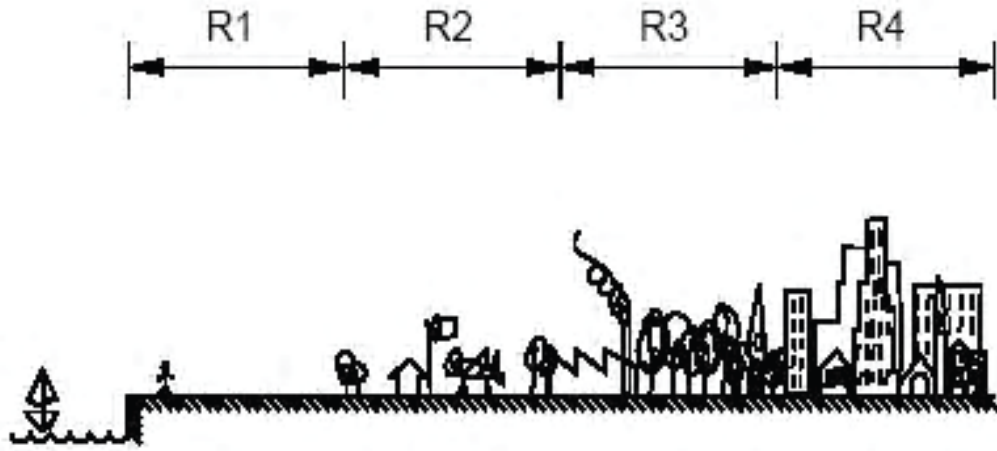
$$\frac{\textit{Altura}}{\textit{Ancho}} = \frac{7.97}{6.7} = 1.1895$$

En el arto.46 el RNC-07 establece los efectos a considerar, y señala lo siguiente “Para el diseño de estructuras tipo 1, bastara tener en cuenta los efectos estáticos del viento, calculados de acuerdo con el arto.10, arto.11, arto.14” Conociendo que el artículo 10 establece cargas vivas, el articulo 11 Cargas en techos livianos, y el articulo 14 Cargas debidas a cenizas volcánicas, se considera innecesario el cálculo de velocidad de diseño y presiones de viento sobre las estructuras.

**Calculo de velocidades regionales**

En el art.50 establece que “La velocidad regional es la velocidad máxima del viento que se presenta a una altura de 10m sobre el lugar de desplante de la estructura, para condiciones de terreno plano con obstáculos aislados” en la imagen 19 pueden observarse los distintos tipos de regiones y en el caso de la velocidad regional debe ser un terreno R2 donde R indica la rugosidad del terreno

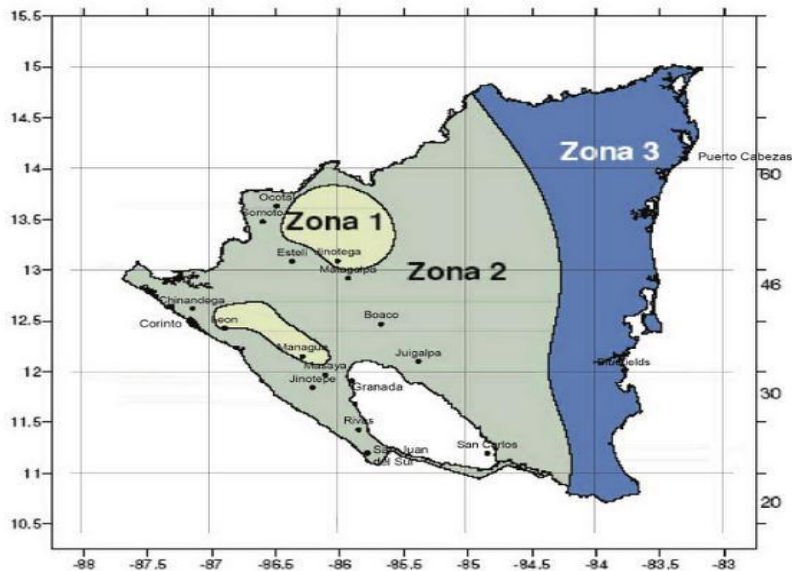
Figura 19 Clasificación de las rugosidades según el área.



Fuente: propia

El valor de velocidad regional depende de la zona en la que está ubicado el sitio de interés para esto podemos localizarla en la imagen 20 para este caso como está localizado en la ciudad de Managua se establece la Zona 1

Figura 20 Zonas para identificar el valor de la velocidad regional



Fuente: propia

Ahora puede obtenerse el valor para la velocidad regional de acuerdo a la tabla 9 donde el valor sería de 30 m/s se utiliza un valor de periodo retorno de 50 pues de acuerdo al reglamento las estructuras del grupo B se diseñan con periodos de retorno de 50 años

**Tabla 9 Periodos de retorno según la zona**

Zona	Importancia de la construcción	
	Periodo de retorno	
	50	200
1	30	36
2	45	60
3	56	70

**Factor de variación con la altura**

En el artículo 51 se define el valor de  $F_\alpha$  como la altura es de 7.97 se toma el valor de 1.0.

$$F_\alpha = 1.0 \quad \text{si } z \leq 10 \text{ m}$$
$$F_\alpha = \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha \quad \text{si } 10 \text{ m} < z < \delta$$
$$F_\alpha = \left(\frac{\delta}{10}\right)^\alpha \quad \text{si } z \geq \delta$$

**Factor correctivo por topografía y rugosidad**

Este factor depende de la topografía local y puede obtenerse de la tabla 10

Tabla 10 Factor correctivo por topografía

Tipos de Topografía (Figura)	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.8	0.7	0.66
T2 Valles cerrados	0.9	0.79	0.74
T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal)	1	0.88	0.82
T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.1	0.97	0.9
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados	1.2	1.06	0.98

El valor para este factor es de 1 ya que el terreno es prácticamente plano.

Una vez obtenido todos los valores se puede calcular la velocidad de diseño como lo establece el capítulo 49 que permite calcular los efectos estáticos del viento en la estructura.

$$V_D = V_{TR} F_\alpha V_R$$

$$V_D = (1)(1)(30\text{m/s})$$

$$V_D = 30 \text{ m/s}$$

### Determinación de la presión de diseño

El valor de la presión que se ejerce sobre las paredes de la estructura está dada en  $\text{Kg/m}^2$ , esta presión depende en gran parte del cerramiento y de los vanos que tengan las paredes donde actuarán las fuerzas del viento en el nivel superior de la estructura no existen cerramientos solo los de los cuartos internos, diferente del primer nivel donde están los cerramientos sin vanos pues las ventanas existentes han sido selladas.

$$P_z = 0.0479 C_p V_D^2 \text{ Kg/m}^2$$

Donde

$C_p$  = coeficiente local que depende de la forma de la estructura

$V_D$  = Velocidad de diseño a la altura  $z$

De acuerdo al artículo 45 se obtiene el valor del coeficiente de presión normal a la superficie expuesta es de -0.3 en aberturas uniformemente expuestas distribuidas en las cuatro caras.

$$P_z = 0.0479 (-0.3) (30)^2 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_z = -12.93 \text{ Kg/m}^2$$

#### **6.2.4 Determinación de las fuerzas sísmicas**

##### **Descripción de la estructura**

El edificio consta de dos niveles, en planta tiene forma rectangular con extensiones en el centro y el lado oeste, el entrepiso es una losa maciza de 10cm de espesor mientras que el techo es inexistente pero se evidencia que constaba de una losa de techo plano, la estructura tiene una altura de 7.97 m.

En el primer piso tiene cerramientos de bloques de 15x20x40 mientras en el segundo nivel no existe cerramiento, el área en planta de la estructura es de 576.57 m<sup>2</sup> sin incluir el área donde se ubicaba la capilla interna que tiene un área de 153.12 m<sup>2</sup>.

##### **Determinación del peso de la vivienda**

De acuerdo al artículo 15 se calcula el peso de la estructura en este caso para los cálculos solo se tomara el área de 576.57 excluyendo el otra área pues a pesar de tener la misma altura no tiene entrepiso, según el artículo 9 y 10 se calculan las cargas.



-Peso propio de la losa:

$$0.10 \text{ m} \times 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$=0.24\text{ton/m}^2$$

(Segundo nivel)

$$0.5 \text{ m} \times 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$=0.12\text{ton/m}^2$$

-Relleno, impermeabilización, valor típico en estructuras

$$=0.12\text{ton/m}^2$$

Carga muerta total

$$=0.24\text{ton/m}^2+0.12\text{ton/m}^2$$

$$=0.36 \text{ ton/m}^2$$

De acuerdo al artículo 10 se establecen los valores de carga viva la carga viva máxima es de 200 Kg/m<sup>2</sup> y la reducida es de 80 Kg/m<sup>2</sup>, en el artículo 15 establece que usara la carga reducida para el análisis sísmico. El valor es de 40 Kg/m<sup>2</sup> para cubierta de techo.

Además del peso de la losa se debe calcular las cargas muertas generadas por los muros para los cuales están establecidos en el anexo 4A. en el cual se debe sumarle el peso por repello que es de 20 Kg/m<sup>2</sup> por cara repellada como el repello esta en ambas caras se deberá incrementar 40 Kg/m<sup>2</sup>.

-Muros de bloque de cemento con las dimensiones de 15 x 20 x 40

$$240\text{Kg/m}^2 \times 4.1\text{m} \times (180.86\text{m}/576.57\text{m}^2)$$

$$=308.66 \text{ Kg/m} = 0.31 \text{ ton/m}^2$$

(Segundo nivel)

$$240\text{Kg/m}^2 \times 3.87\text{m} \times (158.28 \text{ m}/576.57\text{m}^2)$$

$=254.97 \text{ Kg/m} = 0.25 \text{ ton/m}^2$

**Tabla 11 Cuantificación del peso de la construcción**

<b>Entrepiso</b>	<b>Peso</b>	<b>Peso</b>
Elemento	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>
Ppo Losa	0.24	138.38
Acabados	0.12	69.19
Muro	0.31	178.74
Carga viva sismo	0.08	46.13
<b>TOTAL</b>	<b>1.04</b>	<b>599.62</b>

(Segundo nivel)

<b>Entrepiso</b>	<b>Peso</b>	<b>Peso</b>
Elemento	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>
Ppo Losa	0.12	69.19
Acabados	0.12	69.19
Muro	0.25	144.14
Carga viva sismo	0.04	23.06
<b>TOTAL</b>	<b>0.53</b>	<b>305.58</b>

Fuente: Propia

Por lo tanto el valor del peso total del edificio seria la suma de las dos cargas que da como resultado:

$W = 305.58\text{ton} + 599.62 = 905.2 \text{ ton}$

Para la selección del tipo de análisis se debe verificar que cumpla con lo establecido en el capítulo V del artículo 30 que en este caso tiene las siguientes condicionantes:

-Las cargas están soportadas por muros ligados con losas monolíticas de concreto, son simétricos a los dos ejes ortogonales

-La relación entre el largo y ancho del edificio es  $4.17 < 2$  (no cumple)

-La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base no debe exceder los 1.5

Por lo tanto no se puede utilizar el método simplificado y se debe hacer por el método de análisis estático dinámico. Este método es útil para estructuras no mayores de 40m sin importar sus características

El valor de  $C=0.257$  fue calculado con la ecuación 5 y es el valor de coeficiente sísmico.

$$F_s = cW_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i + h_i} \quad S = 0.257 \times 905.2 = 232.64 \text{ ton}$$

**Tabla 12** Calculo de fuerza sísmica.

		DIRECCION X			
NIVEL	$h_i$	$W_i$	$W_i h_i$	$F_i$	$V_i$
	(m)	(ton)		(ton)	(ton)
CUBIERTA	7.97	305.58	2435.47	115.77	115.77
NIVEL	4.1	599.62	2458.442	116.86	232.64
$\Sigma$		905.2	4893.912		

Fuente: Propia

### 6.3 DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

Debido a que el sistema estructural, de la Antigua Nunciatura Apostólica es de mampostería Confinada (Bloques Huecos de Concreto), por elementos de concreto reforzado y asegurada en la totalidad de la planta baja con muros de

corde, este edificio es poco sensible a los efectos dinámicos del viento por tanto basados en el arto. 45 del RNC-07, se clasifica en tipo I por lo cual solamente se considera los empujes y succiones estáticas (Efectos estáticos del viento).

**Figura 21 Levantamiento topográfico**



**Fuente: propia**

Durante la visita al sitio se logro observar una serie de problemas presentes en la estructura, que evidencian el abandono en el que se encuentra, y la exposición ambiental, es notable la exposición del acero de refuerzo en ciertas áreas de las estructura algunos por perdida de revenimiento (ver anexos III –inciso a,b) y otros por falta de recubrimiento, aun con todo esto puede apreciarse la belleza de la estructura.

Características Geométricas de la estructura (Ver anexos V):

- La altura total del edificio es de 7.97m de lo cual el primer nivel tiene una altura de 4.1m y en segundo nivel de 3.87m.
- La fachada norte y sur miden en el eje x 46.4 como puede observarse en los anexos V de las plantas estructurales.
- Sobre el eje Y mide 11.13m en la longitud menor y 22.26m en la mayor.
- Consta de un balcón en la fachada norte con un área de 7 m x3.98m.

- En la parte posterior y opuesta al balcón se encuentra un área que se utilizaba como capilla para el culto, esta tiene una longitud de 11.23m y constaba de una base de 7m al igual que el balcón tiene la altura igual a la de los dos pisos juntos pero con la salvedad que no existe ninguna losa de entrepiso.
- En ambos lados de la capilla cuenta con una serie de espacios cuyo propósito es desconocido con una longitud en el eje x de 2.76m y en el eje Y 12.23
- Sobre el entrepiso están una serie de ambientes cuya funcionalidad fue en su momento habitacional mientras en la parte inferior se utilizaba como oficinas y centro de reuniones. Las habitaciones eran en total 8 y otra anexa en dirección perpendicular a las demás habitaciones en el extremo izquierdo.
- Las dimensiones de las habitaciones son variables.

**Figura 22 Desprendimiento del acero de refuerzo y de concreto**



**Fuente: propia**

Una de las paredes como podemos observar en la figura es un claro indicio de haber soportado un sismo ya que este tipo de grietas son características de los

movimientos de la estructura ante un sismo. Conociendo parte de la historia de la estructura puede suponerse que estas fueron provocadas por el sismo de 1972.

**Figura 23** Grieta típica de los movimientos de una estructura durante un sismo.



**Fuente:** Propia

Otra de las cosas que es notable es la inexistencia de la losa de techo así como la gran acumulación de suciedad en la losa de entrepiso. La viga corona del primer nivel presenta falta de recubrimiento en ciertas áreas.

Una de las cosas que llama la atención en primer instancia es la falta de continuidad en las columnas del primer nivel con aquellas que soportan el nivel superior (ver anexos III inciso c), esto lleva a pensar que el propósito inicial de la estructura no era lo que puede verse en la actualidad, posiblemente inicialmente era una estructura de una sola planta, y la segunda fue anexada cierto tiempo después.

En el costado norte las columnas son continuas mientras en el costado oeste no es así, el costado sur por su parte es una combinación de ambos pues algunas columnas son continuas mientras otras no. Algunas áreas al parecer han

desaparecido con el tiempo y solo pueden verse columnas aisladas esta no es posible definir cuál era su uso.

Cierta cantidad de columnas presentan grietas en a lo largo de la sección transversal estas son indicios de haber sido afectadas por fuerzas cortantes estas están localizadas en el nivel superior.

En su mayoría los daños están en la parte superior de la estructura ya sea en columnas como en cerramientos, esto es causa de las condiciones atmosféricas a las que han quedado expuestas las áreas una vez que desaparece el techo y toda el agua y el sol ingresan a estas zonas que originalmente estaban cubiertas.

Figura 24 Estructura en la actualidad a) Grieta por cortante en columna superior b) desprendimiento de recubrimiento por corrosión.



Fuente: Propia

## **6.4 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EL MÉTODO DEL ESCLERÓMETRO.**

### **6.4.1 Equipo**

Para realizar este ensayo contamos con el apoyo del Centro de Investigación Geológica (CIGEO) de la UNAN-MANAGUA (ver anexos III inciso d) quienes nos facilitaron un equipo para medir la capacidad resistente del concreto Esclerómetro como se muestra en las Figuras:

El equipo es de fabricación estadounidense de marca SCHMIDT 2000 que está compuesto por el martillo, una roca pulidora para alisar la superficie, y un lector donde se muestra la resistencia y el numero de golpes además de otras informaciones.

**Figura 25 ensayo con esclerómetro**



Fuente: propia



El Centro de investigación coopero enviando como supervisores del trabajo, un técnico en topografía y el encargado del área de geología. El procedimiento de utilización se encuentra establecido en la norma ASTM D5873-05

De los ensayos no destructivos utilizamos la prueba Martillo Suizo cuya herramienta es el esclerómetro pues permite conocer de forma aproximada los valores de resistencia a compresión ya en el capítulo 4 se explico la forma en que se obtiene este dato.

En la tabla 6.4 se presentan los valores obtenidos para columnas, entrepiso, paredes:

Para obtener el modulo de elasticidad en el concreto, se utiliza la formula según la noma ACI 318 en la sección 8.5.1 para concretos de peso normal.

$$E_c = 4,700 \sqrt{f'_c}$$

**Tabla 13 Valores de resistencia para columnas obtenidas por medio de esclerómetro (2º nivel).**

Eje	Columna	Resistencia f`c (psi)	Modulo de elasticidad.(Kg/cm2)	Promedio f`c (Kg/cm2)
D	D12	7353.4461	343338.273	480.5
		6315.1452	318176.743	
	D10	6059.1258	311660.488	420.33
		6059.1258	311660.488	
		5817.3297	305378.601	
	D6	3939.8541	251314.086	293
		4850.1453	278839.398	
		3712.2813	243947.966	
	D3	7893.9315	355732.413	511
		6827.184	330824.425	
7083.2034		336970.295		
B	B1	4153.2036	258028.913	350.5
		5817.3297	305378.601	

A	A2	4608.3492	271800	341
		5561.3103	298583.171	
		4380.7764	265003.924	
A'	A'3	5817.3297	305378.601	329.5
		3939.8541	251314.086	
		4380.7764	265003.924	
		4608.3492	271800	
	A'6	6571.1646	324562.197	392
		5077.7181	285306.099	
		5077.7181	285306.099	

Fuente: Propia

Tabla 14 Valores de resistencia para columnas obtenidas por medio de esclerómetro (1º nivel).

Eje	Columna	Resistencia $f_c$ (psi)	Modulo de elasticidad.( Kg/cm2)	Promedio $f_c$ (Kg/cm2)
D	D11	7083.2034	336970.295	498
F	F9	5077.7181	285306.099	357
G	G7'	6059.1258	311660.488	453
	G13	6827.184	330824.425	480
A	A12'	6827.184	330824.425	386
		4153.2036	258028.913	
A'	A'9	6571.1646	324562.197	462

Tabla 15 Valores de resistencia para losa de entrepiso.

Nº de Muestra	Resistencia $f_c$ (psi)	Modulo de elasticidad (Kg/cm2)	Promedio $f_c$ (Kg/cm2)
1	2673.9804	2070407.69	188
2	2090.8251	1830777.7	147

<b>3</b>	2673.9804	2070407.69	188
<b>4</b>	2474.8542	1991826.8	174
<b>5</b>	2275.728	1910015.71	160
<b>6</b>	2873.1066	2146113.23	202
<b>7</b>	2474.8542	1991826.8	174
<b>8</b>	2474.8542	1991826.8	174
<b>9</b>	2474.8542	1991826.8	174

Fuente: propia

Al considerar una resistencia inicial de diseño en el concreto para losa se obtiene un porcentaje de reducción de la resistencia de:

$$D_{\text{durabilidad}} = \frac{(3000 - 2498.56)}{2498.56} * 100 = 20\%$$

Lo que indica es la reducción en la resistencia del concreto que ha sido del 20% por lo que el peso volumétrico equivale a un 80% de su valor inicial.

**Tabla 16 Valores de resistencia en paredes.**

<b>Nº de Muestra</b>	<b>Resistencia f`c (Kg/cm2)</b>
<b>1</b>	188
<b>2</b>	147
<b>3</b>	188
<b>4</b>	174
<b>5</b>	160
<b>6</b>	202
<b>7</b>	174
<b>8</b>	174
<b>9</b>	174

Fuente: Propia

Para obtener un valor de resistencia se promedian los valores obtenidos para los distintos elementos como puede observarse en las tablas 15, y 16 existe una

diferencia notable entre los valores de resistencia para losa cuya resistencia es menor que la obtenida en las columnas.

### 6.5 ENSAYO CON FENOLFTALEÍNA

Figura 26 Materiales para el ensayo con el compuesto Fenolftaleína.



Fuente: propia

La Fenolftaleína es un compuesto químico obtenido de la combinación del Fenol con el Anhídrido Ftálico, este compuesto reacciona en función del PH, la reacción es un cambio de color de acuerdo al grado de este último. Es útil para detectar la carbonatación del concreto (Fenómeno causado por la exposición del elemento al Dióxido de Carbono).

El Ph del concreto es de 12.5, su disminución conlleva a una mayor posibilidad de verse afectado por la oxidación con esto el acero queda más expuesto puesto que en concretos con niveles normales de PH se ve reducida la capacidad de el ingreso de agentes externos. El grado de penetración de la carbonatación en el concreto se calcula con aproximación ya que es conocido que el concreto tarda 20 años en carbonatar 2 cm.

Se logro realizar pruebas en distintos elementos con exposición del acero de refuerzo y se observo que la carbonatación ha llegado hasta estos. Para esto se

utilizo el mismo químico en dos estados distintos como puede observarse en la imagen 6.11 se utilizo Fenolftaleína en polvo y en los anexos III puede verse la imagen de este mismo químico ya disuelto en alcohol. Con ambos se obtuvo el mismo resultado.

Como puede apreciarse en la imagen 6.12 la carbonatación ha penetrado toda la capa de recubrimiento del acero que es de aproximadamente 2cm, esto conlleva al ingreso de posibles elementos de corrosión al acero de refuerzo.

### Figura 27 Ensayo con Fenolftaleína

a) Aplicación del Químico

b) Resultado



Fuente: Propia

El ensayo se realizo en las zonas con exposición de acero para verificar el avance de la despasivación del concreto y el riesgo del posible ingreso al refuerzo de agentes patógenos presentes en al ambiente.

Es notable que el paso del tiempo ha logrado causar la despasivación del concreto principalmente en el piso superior, ya que está más expuesto a la intemperie a la acumulación de agua en la losa del entrepiso, además que ésta no tiene como drenar el agua de lluvia ni las suciedades por eso hay acumulación de tierra en esta área, además de algunas partes del antiguo techo.

**Figura 28** Ensayo con fenolftaleína en muro.



**Fuente:** propia

Puede notarse en las imágenes anteriores la ausencia de reacción, esto es indicio de la oxidación del concreto que ha llegado hasta el refuerzo en todas las zonas del y elementos estructurales, el paso del tiempo, la exposición, el descuido y la falta de mantenimiento son algunos de los tantos factores que han contribuido a la disminución de la impermeabilidad del concreto, esto pone en peligro la integridad estructural.

## **7. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE EL SOFTWARE (ETABS)**

El análisis del programa se llevo a cabo mediante el software ETABS 9.7.4, mediante esta herramienta se logro evaluar las condiciones actuales de la estructura, además de utilizar el mismo procedimiento con las condiciones iniciales de diseño. Esta evaluación requería de cierta información proveniente de la estructura misma, como el dimensionamiento de los elementos estructurales, recubrimiento, cantidad de acero y tipo del mismo, resistencia a la compresión actual del concreto.

En la Figura 7.1 puede observarse la distribución de vigas que soportan el entrepiso, este último con un espesor de 15cm reforzado por varillas lisas de acero al igual que todo el refuerzo de la estructura. Este elemento cubre el 90% de la totalidad del área en planta excepto la zona posterior que llega hasta un segundo nivel sin entrepiso pues la función para lo cual estaba destinada esta área era funcionar como capilla para el personal del departamento apostólico.

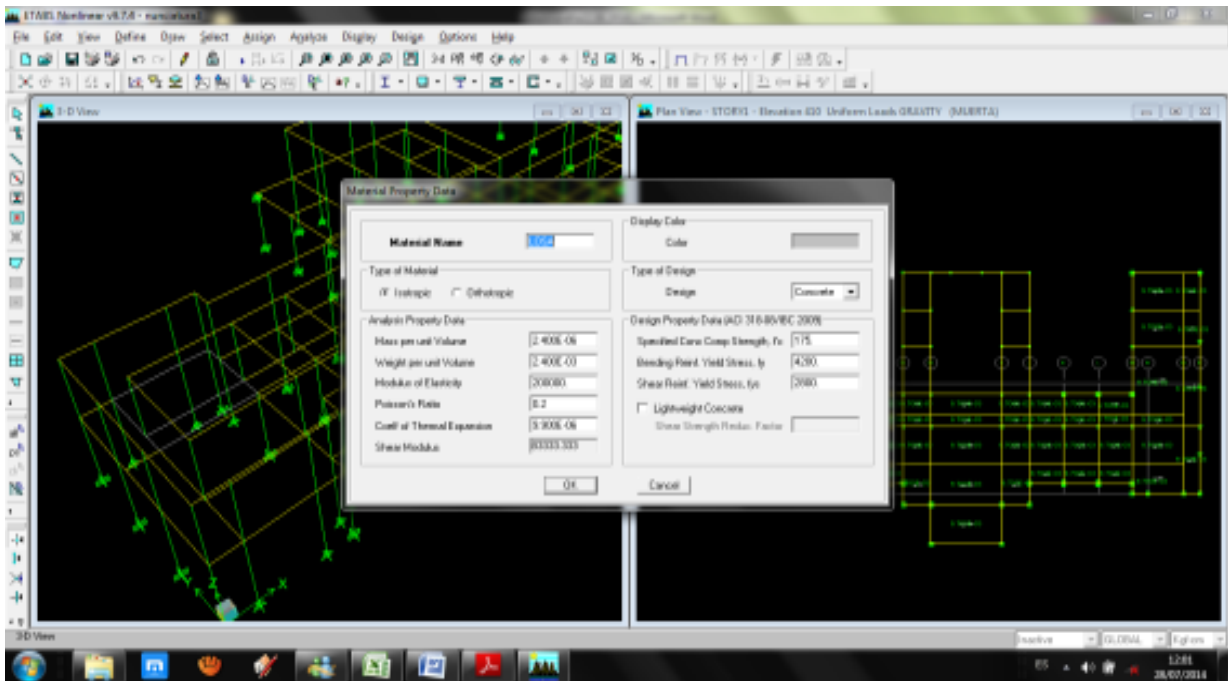
Las vigas que forman la estructura portante del entrepiso tiene secciones variables que van desde elementos de 0.4m hasta 0.6 m.

### **PROCEDIMIENTO**

Como primer paso se define en el programa las propiedades de los materiales, para este caso en la tabla 6.6, tabla 6.7 y la tabla 6.8 se encuentran los valores de resistencia a la compresión del concreto y módulo de elasticidad, que se obtienen mediante el ensayo planteado en el inciso 6.4, en las columnas se realizaron un promedio de tres mediciones para los cuales se calcula el valor promedio y se definen cada columna con las propiedades individuales para el resto de columnas se toma el valor promedio de todos los ensayos según el nivel.

La revisión de los valores obtenidos se llevara a cabo tomando en consideración las normas ACI 318-08 para estructuras de concreto reforzado, de esta forma puede obtenerse los valores del modulo de elasticidad, momentos permitido distorsiones etc.

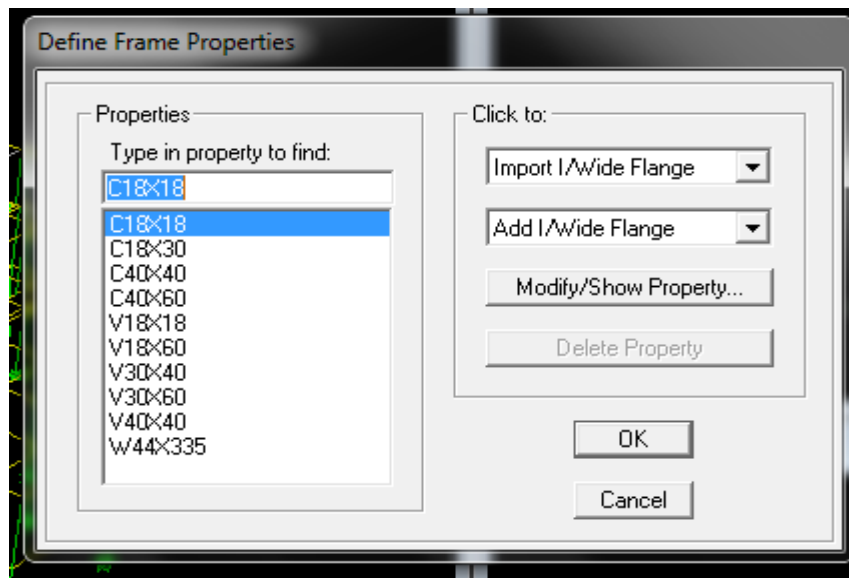
Figura 29 ingreso de las propiedades de los materiales



Fuente: propia

Una vez definidos los materiales se procede a definir las propiedades para cada elemento, 16 valores en total dos de los cuales son promedios un promedio por nivel, otro valor es para la losa y valores individuales para cada elemento.

Figura 30 Secciones



Fuente: propia



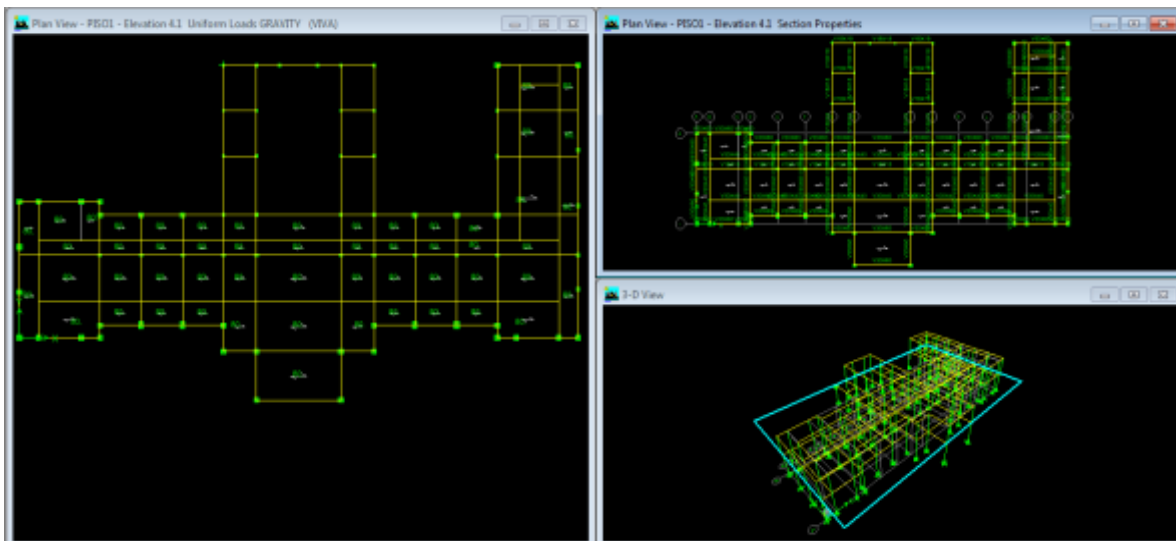
Se elaboraron de forma paralela dos modelos con propiedades distintas el primero se elaboro con las condiciones iniciales de la estructura para lo cual se tomo en cuenta la cubierta de techo que actualmente no existe con los valores de resistencia superiores tratando de obtener un modelo más cercano a lo que fue el edificio en sus inicios.

Se elabora un modelo de la edificación con los datos obtenidos del levantamiento topográfico se definen los distintos tipos de elementos con sus secciones una vez elaborado se asignan a cada elemento los valores de sección y propiedades de resistencia en cada elemento para los cuales se tiene valores para losa de 178.67 Kg/cm<sup>2</sup> obtenido como valor promedio de la tabla 6.8

Para losa se usaron cargas de carga viva de 80 Kg/cm<sup>2</sup> y carga muerta 97 Kg/cm<sup>2</sup> mientras para la losa superior el valor de carga viva es de 40 Kg/cm<sup>2</sup>

En la figura 7.1 puede verse la losa de entrepiso con las cargas vivas asignadas en la parte izquierda de la imagen, mientras al lado derecho se muestran los elementos estructurales con las dimensiones de sus secciones transversales una vez designadas las cargas en la losa y características de los elementos.

**Figura 31 Vista en planta de la distribución de elementos estructurales en entrepiso.**



Fuente: propia

El área de la segunda planta no consta de paredes simplemente está formada por los elementos estructurales (vigas y columnas), al no contar con cerramientos ni techo expone a los elementos al intemperismo y variaciones de temperatura, factores que contribuyen al deterioro y al ataque de agentes nocivos.

Además de las cargas sobre las losas también se asignan las cargas causadas por los bloques de concreto en las vigas y columnas los cuales se calculan de la siguiente manera:

Cargas sobre columnas

$$((L_1+L_2) \times 0.5) \times 240$$

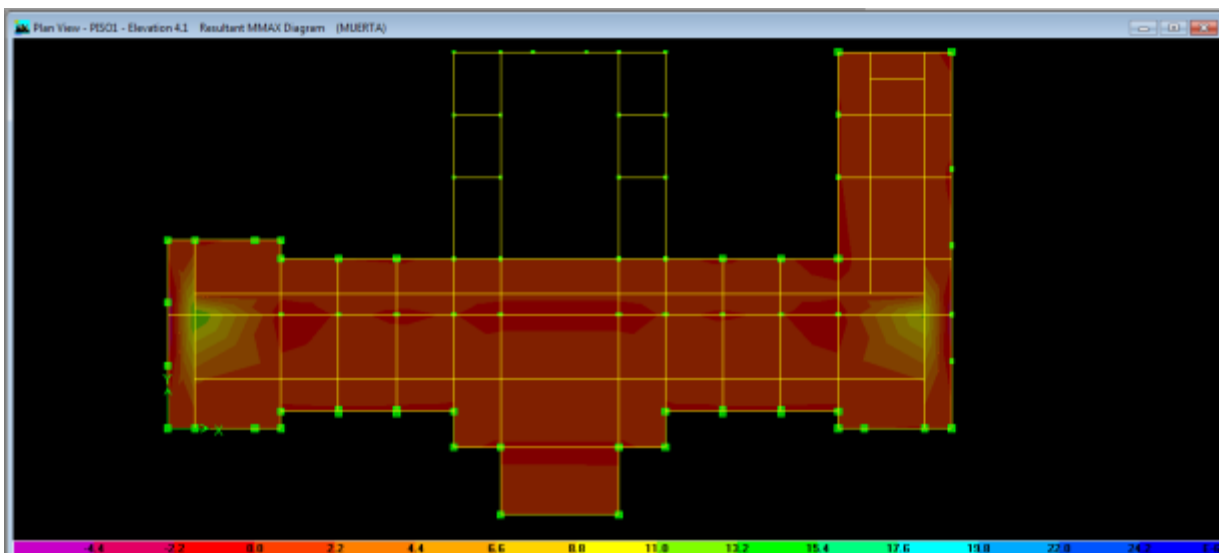
Donde L es la longitud lateral de la columna y el valor de 240 es el peso de los bloques de concreto según lo establece el reglamento incluyendo el repello a dos caras.

Cargas sobre vigas

$$(h \times 0.5) \times 240$$

Donde h es la altura de la columna.

**Figura 32 Momentos sobre losa de entresuelo.**



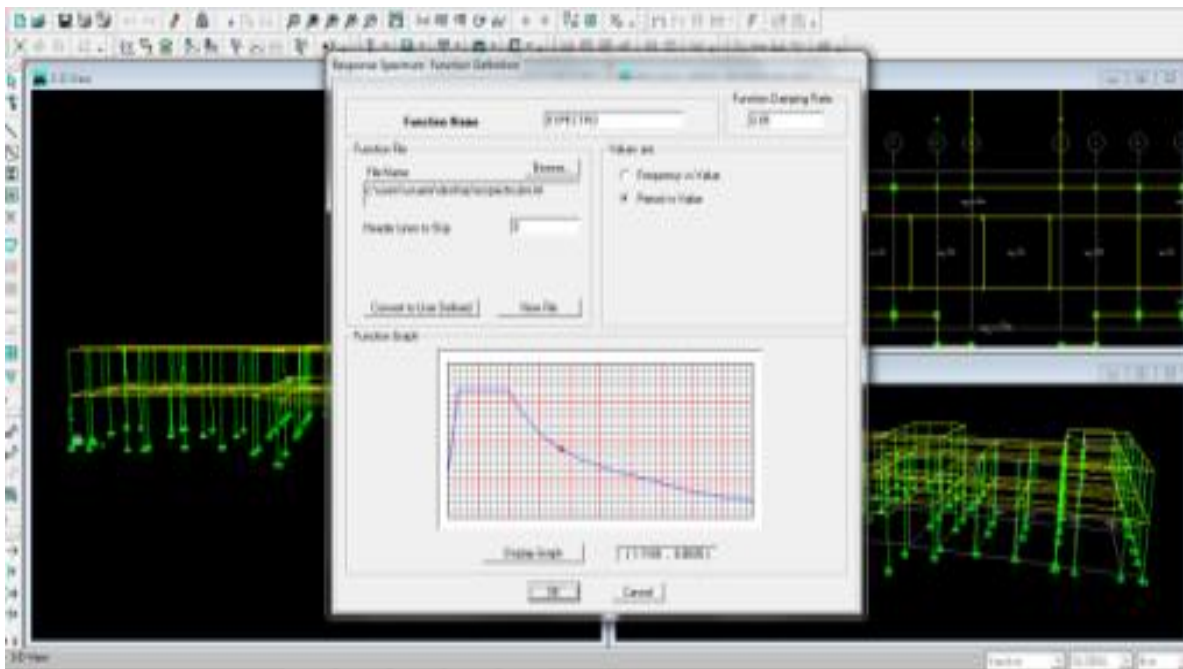
Fuente: Propia

Como puede observarse en la figura 31 las columnas que no cumplen con la resistencia necesaria son aquellas que están de color rojo están sobre el eje C y otras sobre el eje G cabe mencionar que las columnas que presentan problemas tienen una dimensión menor que las del resto de las columnas pues sus dimensiones son de 30x18 y de 18x18cm.

En la figura 32 se pueden observar los momentos actuantes en la losa de entrepiso donde los colores naranjas son los sitios con valores de -2.2 Kgf/m hasta 4.4 Kgf/m en algunos puntos se ve el color verde indicador de las zonas con mayores momentos que van desde 11 Kgf/m hasta 13.2Kgf/m.

En la figura 33 se muestra el espectro de respuesta una vez asignado el programa calculado según lo establecido en el Reglamento Nacional de la Construcción en la sección 6.2 se muestra el cálculo de los parámetros para realizar el espectro de respuesta, una vez establecidos todos estos parámetros deben de ser asignados.

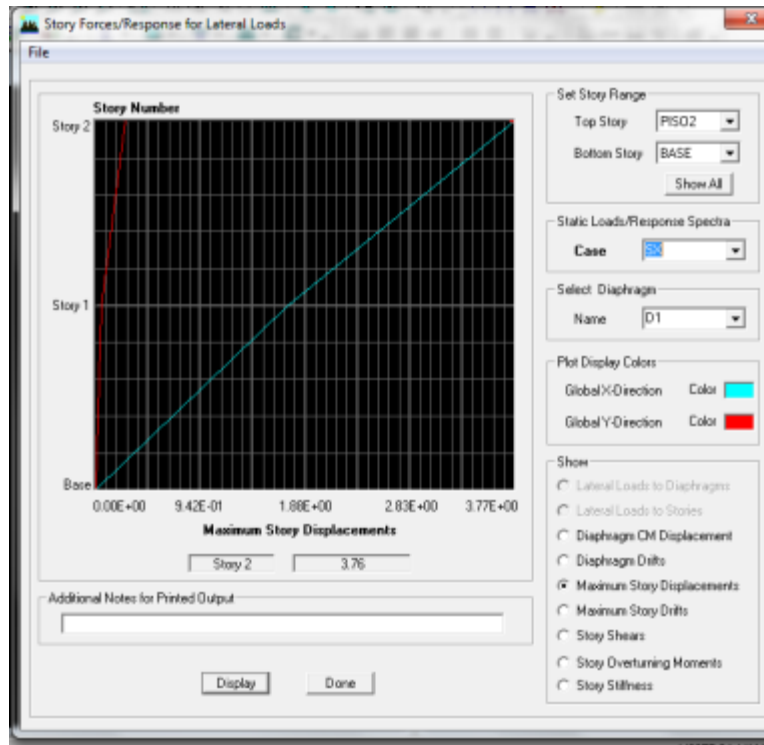
**Figura 33 Espectro de respuesta**



Fuente: propia

El siguiente procedimiento es correr el programa o sea realizar el análisis para lo cual se realizara una comparación de los resultados obtenidos con el diseño original y el edificio en las condiciones actuales.

**Figura 34 Momento máximo en vigas**



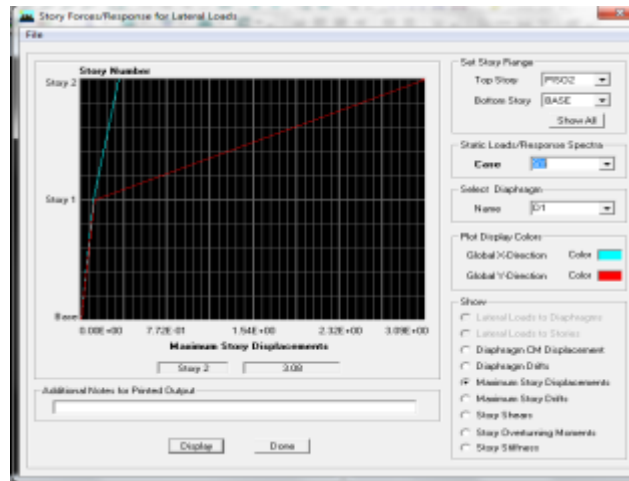
Fuente: propia

La figura 34 anterior muestra el análisis para cuantificar las derivas (Máximos desplazamientos) máximas de la estructura original, para las cuales se presentan valores de 1.76cm en el primer piso y 3.75cm en el segundo piso para un sismo en la dirección x-x.

Para verificar los valores de acuerdo a lo establecido en el reglamento Nacional de la construcción es necesario calcular los valores de distorsión en cada entrepiso las alturas fueron plasmadas en el acápite 6.3 donde se describe la estructura.

En el artículo 34 del reglamento se establecen los desplazamientos laterales permitidos para diversos tipos de estructuras según el análisis seleccionado, la tabla 4 muestra las distorsiones máximas permitidas.

Figura 35 Momento máximo en columnas

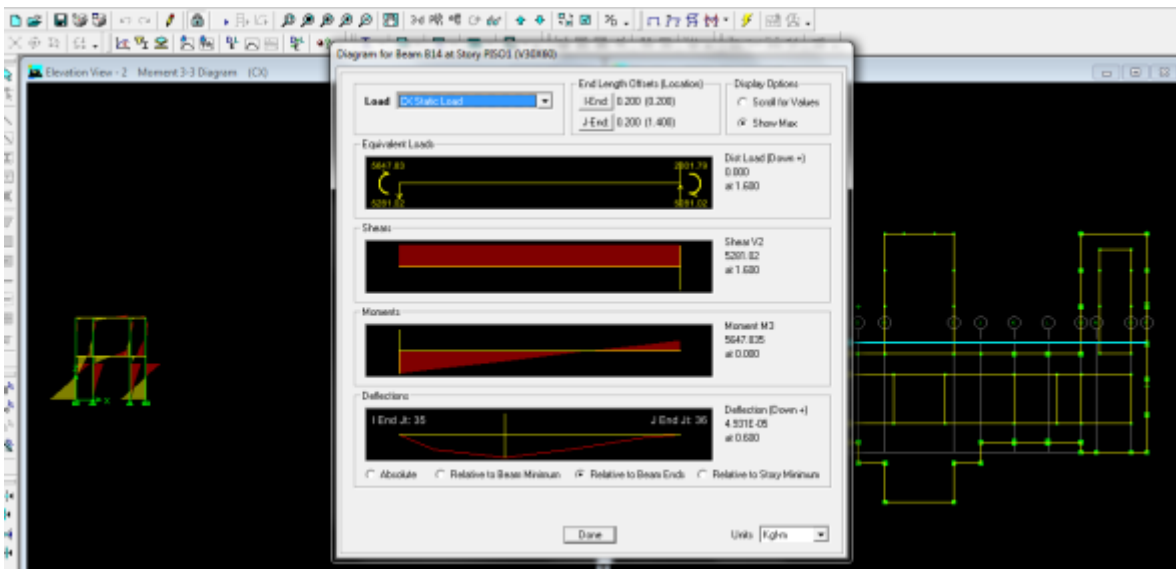


Fuente: Propia

Esta otra figura muestra el análisis de un sismo en la dirección Y-Y para este se ve una disminución del valor de derivas en ambos pisos la segunda la primera presenta un desplazamiento de 0.13cm mientras en la segunda baja a 3.08cm.

La siguiente figura muestra la viga con el mayor momento esta se encuentra sobre el eje 2 en el costado sur y cuyo valor de momento máximo es de 5647.835 Kg.m, este valor equivale a 564783.5 Kg.cm.

Figura 36 Viga con el momento máximo.



Fuente: Propia

Calculo de desplazamientos y distorsiones por nivel.

$\Omega=2; Q=4; Q' = 3.2$

$$\Omega Q' / 2.5 = \frac{3.2 * 2}{2.5} = 2.56$$

NIVEL	hi	$\delta x$	$\delta xT$	$\Delta xT$	$\delta y$	$\delta yT$	$\Delta xT$	Distorsión
Piso 2	3.87	1.76	4.86	0.01	0.13	0.3328	0.01951	0.009
Piso 1	4.1	3.75	9.6	0.02	3.08	7.8848	0.01923	0.0007

Tabla de distorsiones Máximas permitidas

Tabla 4 Distorsiones máximas permitidas

Sistema estructural	Distorsión
Marcos dúctiles de concreto reforzado (Q= 3 ó 4)	0.0300
Marcos dúctiles de acero (Q= 3 ó 4)	0.0300
Marcos de acero ó concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.0150
Losas planas sin muros o contravientos	0.0150
Marcos de acero con contravientos excéntricos	0.0200
Marcos de acero o concreto con contravientos concéntricos	0.0150
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto (Q= 3)	0.0150
Muros combinados con marcos de concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.0100
Muros diafragma	0.0060
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	0.0050
Muros de carga de: mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente; o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla	0.0040
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior	0.0020
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	0.0015

Para este caso con un Q=4 la distorsión máxima permitida es de 0.03 en cuyo caso la estructura cumpliría con los valores establecidos, sin embargo debido al estado del edificio se colocara muros externos en el segundo piso lo que conlleva a una disminución en los valores del desplazamiento.

## 8. PROPUESTA DE INTERVENCION

Para solucionar este problema se debe incrementar las secciones de las columnas intervención que dará mayor resistencia a los elementos críticos a continuación se verifica el porcentaje de acero en las secciones con fallas y se evalúa un incremento en la sección de la misma.

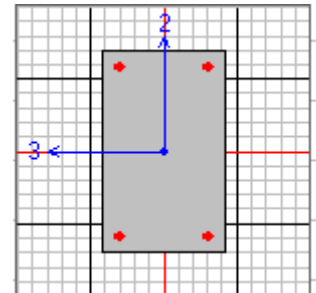
Columnas críticas

$$A_g = 0.01 * (18\text{cm} * 30\text{cm})$$

$$A_g = 5.4\text{cm}^2$$

Utilizando varillas #4

$$5.4\text{ cm}^2 / 1.27 = 4.28 \text{ lo que equivale a 4 varillas \#4}$$



**Figura 37 Sección de 15x30**

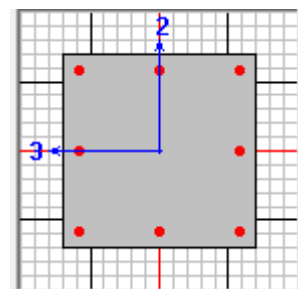
A continuación se propone un encamisado incrementando la sección a un valor de 30cmx30cm para lo cual se debe calcular nuevamente la cantidad de acero.

$$A_g = 0.01 * (30 * 30)$$

$$A_g = 9\text{cm}^2$$

Evaluando la cantidad de varillas de acero

$$9 / 1.27 = 7.08 \text{ lo que indica 8 varillas \#4}$$



**Figura 38 Sección de 30x30**

Además de los refuerzos se deben utilizar ciertos materiales para intervención de las áreas expuestas, que faciliten la adherencia entre los materiales existentes y los de restauración (ver Anexos IV Materiales de restauración)

En las zonas donde exista evidencia de corrosión o sea desprendimiento del material de recubrimiento, se debe limpiar el área eliminando el material afectado hasta llegar al material sano, una vez eliminado se aplicara mortero de reparación estructural de aplicación manual y proyección(ver anexos IV B), la adherencia entre el material existente y el nuevo material de restauración será facilitada por un adhesivo para pegado estructural que facilita la unión de ambos materiales, además se debe cubrir la fachada con productos para prevenir y eliminar el salitre, humedad hongos y moho en muros y fachadas.

Todos los elementos para la restauración planteados en esta propuesta se encuentran en el anexo IV con su ficha técnica donde puede observarse el uso y la aplicación. Para combatir la carbonatación se debe aplicar un inhibidor de corrosión en los elementos estructurales principales que evite el deterioro del concreto que es especialmente utilizado en casos donde la carbonatación ha brindado paso a los agentes patógenos actuando en forma penetrante hasta llegar a las barras de acero.

Además debe colocarse una cubierta de techo nueva y muros en el segundo piso ya que esto ayudara a amortiguar el daño en esta zona de la estructura la cual es más afectada que el primer nivel frenara el encharcamiento de agua y por lo tanto la disminución de resistencia de la losa de entrepiso por la humedad y ensuciamiento.

### 8.1 PROPUESTA DE REFUERZO EN VIGAS Y LOSAS.

Por medio de la inspección del sitio se logro comprobar el estado de las vigas y losas que salvo algunas excepciones donde hay exposición del acero puede considerarse aceptable las condiciones de estas tomando en cuenta el tiempo que lleva de existencia, por lo cual se deberá considerar la intervención de las mas criticas tomando en cuenta lo siguiente:

- para evitar la intervención por el método de encamisado como se realiza en las columnas se elige el método de refuerzo con fibra de carbono ya que este ayuda a soportar de forma aceptable las solicitaciones.



- En el caso de exposición de acero de la losa se necesitara devolver a cubrir la zona que a sufrido daño y después poder reforzar con fibra de carbono.

Según (Nawy & Balaguru,1988) establece un método con el cual determina la resistencia nominal a flexión de vigas con refuerzos simple según las ecuaciones siguientes :

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{\beta b_w F_c}$$

Donde:

$A_s$ : es el área del acero                      a: profundidad del bloque

Sometido a tensión                               $f_c$ : es la resistencia del concreto

$b_w$ : es el ancho del patín                      d: peralte efectivo

$\beta$ : es el factor de transformación

Para el bloque rectangular

$M_n$ : momento nominal de la resistencia a flexión.

Se calcula el aporte de la fibra de carbono por medio de la ecuación siguiente según (Portero, 2003):

$$M_l = \frac{F_l}{4} A_l b_l$$

Donde:

$A_l$ : es el área transversal de la lámina de fibra de carbono

$F_l$ : es la resistencia media a tensión de la lámina de fibra de carbono.

$b_l$ : es la distancia entre el eje neutro de la lamina de carbono y la carga neta a compresión.

Tabla 17 Calculo de momento nominal

Propiedades de la viga	Valor
h(cm)	60
b(cm)	30
d(cm)	55
$\phi$	0.9
$\beta$	0.85
F'y	2800
F'c	323.2
Pmin	.005
Asmin(cm <sup>2</sup> )	3.81
Asr(cm <sup>2</sup> )	
a(cm)	1.2944
Mn(Kg.cm)	366475.623
$\phi$ Mn(Kg.cm)	329828.06
Propiedades de la lamina de fibra de carbono	valor
t(cm)	0.12
b(cm)	5
Al(cm <sup>2</sup> )	0.6
bl(cm)	39
MI(Kg.cm)	518142.924
Mnt(Kg.cm)= $\phi$ Mn+MI	847970.98

Fuente: propia

Como puede observarse en la Tabla 17

847970.98 > 564783.5 ok

La fibra de carbono proporcionaría un aporte que ayudaría a la viga a soportar las sollicitaciones a las cuales está sometida, ( ver anexos IV ficha técnica de la lamina) mientras en el cálculo de la resistencia nominal Mn este se realiza con los valores del acero que se encuentra únicamente a tensión como que la viga fuese simplemente reforzada.

Debido a la importancia que representa la Nunciatura tanto para los propietarios como para los intereses del municipio y su cultura es necesaria la recuperación de

este, a pesar que como se muestra en el capítulo anterior las condiciones actuales no le permitiría funcionar como lo requiere de acuerdo a las normas de construcción vigentes, no es capaz de enfrentar las sollicitaciones sísmicas, se determinaron varios sistemas de intervención que recuperarían la estructura de verse completamente deteriorada con el paso del tiempo.

Estos sistemas de intervención contempla el encamisado de una cantidad definida de columnas que se encuentran en el primer nivel y tienen dimensiones inferiores a la del resto de elementos, este incremento en su sección brindaría la resistencia necesaria y daría concordancia y uniformidad a la fachada del edificio.

De la misma forma incrementar las columnas internas inferiores que sirven de apoyo al entrepiso y forman una pared sobre el eje B', estas columnas tienen dimensiones de 18x30cm.

Mientras que las vigas y el resto de columnas será reforzadas con laminas de fibra de carbono puesto que el incremento en las dimensiones romperían con la armonía estética del edificio y a pesar de que fuese funcional sería desastroso sacrificar la belleza tomando en cuenta que el principal motivo para el que se necesita restaurar es el uso como museo de la estructura y no habitacional. Pudiendo sin embargo tomar el camino de un refuerzo externo que cumpliría de forma satisfactoria con los requerimientos y sollicitaciones necesarias para satisfacer las carencias de refuerzo. En las imágenes 7.3 a) y 7.3 b) se muestra la forma de colocar las láminas en las vigas y columnas respectivamente.

Diagrama del incremento de resistencia por la utilización del método de fibra de carbono, puede notarse que el elemento incrementa su resistencia a la flexión y es de gran importancia la forma de adherir las cintas pues el problema puede generarse es el desprendimiento del material adhesivo en cambio la fibra no sufre daño alguno.

Este material es utilizado para todos los elementos estructurales no solo para vigas, también es usado en columnas, entrepisos y paredes en las zonas donde sea necesario el incremento de la resistencia a flexión.

El uso de este material presenta ventajas pues no se corroe es muy ligero fácil de instalar, poseen una alta resistencia a la tracción así como el fácil mantenimiento pues la principal falla presentada es el deterioro de los adhesivos y este puede reemplazarse una vez se note el deterioro y utilizar nuevamente la misma fibra.

### 8.2 INSTALACION DE LA FIBRA DE CARBONO

Se debe verificar que la superficie esté libre de aceites grasas, polvo, lechadas superficiales, pinturas antiguas, en caso de presentarse alguno de estos inconvenientes puede limpiarse la superficie con chorros de arena, o lijado. En caso de existir fisuras estas deben ser rellenadas.

En primer instancia debe de señalarse el área donde se colocaran las cintas, se procede con la abrasión ya sea con martillos o discos de diamantes en caso de que se necesite ocultar la cinta debe hacer un canal pequeño con la profundidad del espesor de la cinta pues una vez instalada puede cubrirse de forma que no sea visible las reparaciones.

Debe eliminarse el polvo provocado por la abrasión procurando dejar una superficie pulcra que facilite la adherencia entre los elementos, una vez realizado esto se debe imprimir la superficie con materiales epóxicos de adherencia junto con pernos de anclaje si es necesario, el tejido no debe presentar arrugas ni bolsas de aire pues esto podría producir el desprendimiento de la cinta.

Una vez finalizado esto puede dar una pasada con mortero para ocultar las reparaciones.

### 8.3 USOS DE LA FIBRA DE CARBONO

Este material es utilizado en distintos procedimientos de acuerdo a los requerimientos puesto que para fortalecer elementos sometidos a compresión principalmente en columnas se utiliza el método de confinamiento de esta cubriéndola con una capa externa.

Entre los distintos requerimientos se encuentran:

- Confinamiento.
- Refuerzo a cortante.
- Refuerzo al impacto.
- Refuerzos sísmicos.
- Refuerzo a flexión.

Además es utilizada para( ver ficha técnica en anexos IVb):

- Incremento de cargas
- Daño en elementos estructurales
- Mejoramiento de la capacidad de servicio
- Modificaciones del sistema estructural
- Actualización de la estructuras reglamentos y normas vigentes
- Errores de diseño y construcción

## **9. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

El edificio de la ANTIGUA NUNCIATURA APOSTOLICA a lo largo de su vida se ha visto expuesta a un sin número de fenómenos naturales que van desde la exposición a los agentes climáticos, químicos, sismos, terremotos entre los cuales se encuentran los que han sacudido nuestro país, todas estas han incidido en la degradación de la estructura llevándola a la disminución de su resistencia portante, como a la inhabilitación de sus instalaciones.

Entre las principales patologías que se han encontrado en el transcurso de este estudio se puede mencionar el ingreso de agentes de carbonatación (Dióxido de carbono) que han llegado a los refuerzos mermando con esto la resistencia de la estructura, es visible además la eflorescencia, ensuciamiento, corrosión del acero estructural, desprendimiento de recubrimiento e incluso del elemento.

Puede notarse algunos errores humanos durante el proceso de fabricación de la mezcla de concreto lo que provoco el asentamiento de los agregados provocando oquedades que dan paso al ingreso de agentes nocivos, en algunos logares hay un recubrimiento casi inexistente de los refuerzos y en otras zonas hay perdida de este.

Todo lo antes mencionado se ha visto reflejado en los bajos valores de Resistencia a la compresión y el análisis dinámico nos muestra que se está excediendo la capacidad resistente de los elementos tanto en vigas, columnas como en losa según lo estipulado en el reglamento nacional de la construcción.

En el análisis dinámico logro observarse que algunos elementos no son capaces de soportar los esfuerzos a los que están sometidos pero con el mejoramiento cumplen con los requerimientos necesarios y tendrían la capacidad de soportar sin ningún problema las solicitaciones.

Con el propósito de recuperar una parte importante de la historia religiosa de nuestro país se propone una restauración que consta del reforzamiento o encamisado en las columnas que lo requieran aumentando su área efectiva para

resistir las cargas y con esto incrementando su resistencia puesto que algunas vigas y columnas cuentan con peraltes grandes y el incremento de estas conllevaría al desequilibrio estético de la fachada se propone la adherencia de cintas de fibra de carbono que brindarían el incremento en la resistencia a flexión necesaria sin incrementar el tamaño de los elementos.

Dicho todo esto es conveniente mencionar que las patologías encontradas no comprometen la integridad estructural del edificio, que a pesar del paso de los años, con un tratamiento adecuado podría recuperarse la estructura por un periodo significativo de tiempo, contribuyendo a la preservación y recuperación de la historia de Managua mediante las estructuras antiguas.

La institución propietaria del inmueble en épocas anteriores se ha visto interesada en la restauración de la estructura, hecho que es de interés tanto para ellos como propietarios como para las instituciones públicas de la ciudad, que podrían coordinar y supervisar la restauración.

## **10. CONCLUSIONES**

- Las principales lesiones encontradas en la estructura se han dado por la exposición a los agentes atmosféricos, en donde los elementos más afectados se encuentran en la segunda planta cuya exposición se dio por la desaparición del techo rígido original.
- Esta exposición a llevado al deterioro paulatino de los elementos estructurales que con el paso del tiempo fueron causando un daño progresivo y la Penetración de Dióxido de carbono al interior del elemento.
- Mediante un ensayo no destructivo logro obtenerse la resistencia en los elementos estructurales donde puede apreciarse la capacidad que poseen los elementos principales incluso aquellos que tienen algún daño, la resistencia promedio para las columnas con mayor sección es de 415.8 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras se obtuvo una resistencia de 359 para las columnas de menor sección 18x18, en la losa es de 175.67.
- Mediante el análisis dinámico se obtuvieron los valores de momentos máximos en vigas, y las columnas críticas que resultaron ser las de menor sección para lo cual se propone un incremento de sección en columnas y laminas de fibra de carbono en las vigas que aporten resistencia al soportar los momentos.
- Se proponen una serie de agentes con los cuales puede darse un mantenimiento adecuado a la estructura y frenar el deterioro, también se propone el uso de elementos para la reparación de los elementos dañados cuya Función es que los materiales de restauración y el material original puedan llegar a complementarse de tal forma que la estructura recupere su resistencia original.



## **11. RECOMENDACIONES**

- Aligerar el peso del nivel superior con la eliminación de las paredes de antiguos cuartos que no brindarían ninguna función en caso de ser restaurada.
- Colocar una cubierta de techo para evitar la proliferación de los daños en el piso superior.
- Sustituir los refuerzos que han sido destruidos por los procesos de corrosión.
- Tratar el acero de refuerzo y sellarlo antes del recubrimiento.
- Incrementar los peraltes de las columnas del primer nivel que no están estéticamente en armonía con la estética del edificio, que a la vez conllevara al incremento de la resistencia.
- Utilizar adhesivos epóxicos que faciliten la adherencia entre el concreto fresco, el concreto endurecido, y el acero de refuerzo, que conlleven a la unificación del elemento.
- Usar mortero expansivo para sellar las grietas.
- Habilitación de las ventanas que se encuentran selladas para facilitar el ingreso de luz y aire al piso inferior.
- Realizar pruebas que brinden el porcentaje de humedad del concreto.
- La restauración debe llevarse a cabo de forma modular, según la importancia de los daños presentes los elementos más afectados, o aquellos que conlleven mayores riesgos deben estar entre las primeras del orden prioritario.

## **12. BIBLIOGRAFIA**

- Bernal C.A. (2006). Metodología de la investigación. 2da edición. México, Pearson Educación de México, S.A de C, V.
- Broto., (2004) Enciclopedia broto de patologías de la construcción. Editorial Gustavo Gili S, A. Digital.
- Casillas., Díaz., Gonzales., & Robles. (1974) Aspectos fundamentales del concreto reforzado. D.F, México: editorial Limusa.
- Centro de investigación en gestión integral de riesgo. (2009) Patologías en las edificaciones módulo 2 sección 4.
- Felipe de J., García Rodríguez. Evaluación de estructuras de concreto, técnicas y materiales para su reparación.
- Fernando Rodríguez García., Rehabilitación de estructuras de hormigón.
- Instituto nicaragüense del cemento y del concreto (2009). El concreto y la vivienda de interés social. revista Vol. (3) boletín técnico pág. 2-6.
- Instituto nicaragüense del cemento y del concreto (2010) viviendas de concreto. Revista vol. (7) boletín técnico pág. 1-6
- Manual de productos SIKA (2013), Ferretería san Jerónimo.
- Morral., F. (1966) Hormigón armado. Madrid, España: Editorial DOSSAT
- Paulo., R., Lago Elene. (2003), Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.
- Pérez., J(s.f.) patología de estructuras de hormigón armado . recuperado el día 15 de abril del 2013.
- Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (1971)D,F. México, Unión Grafica S.A

- Reglamento nacional de la construcción. (2007). NORMAS MINIMAS GENERALES de CONCRETO REFORZADO/ RNC-07-71. Managua, Nicaragua
- Sintomatología en las estructuras de concreto armado. (s.f.) Recuperado el día 15 de abril del 2013.
- Villegas L., Lonbillo I., (s.f.) Estudios previos en la rehabilitación de construcciones del patrimonio construido. Recuperado el día 29 de marzo del 2013.

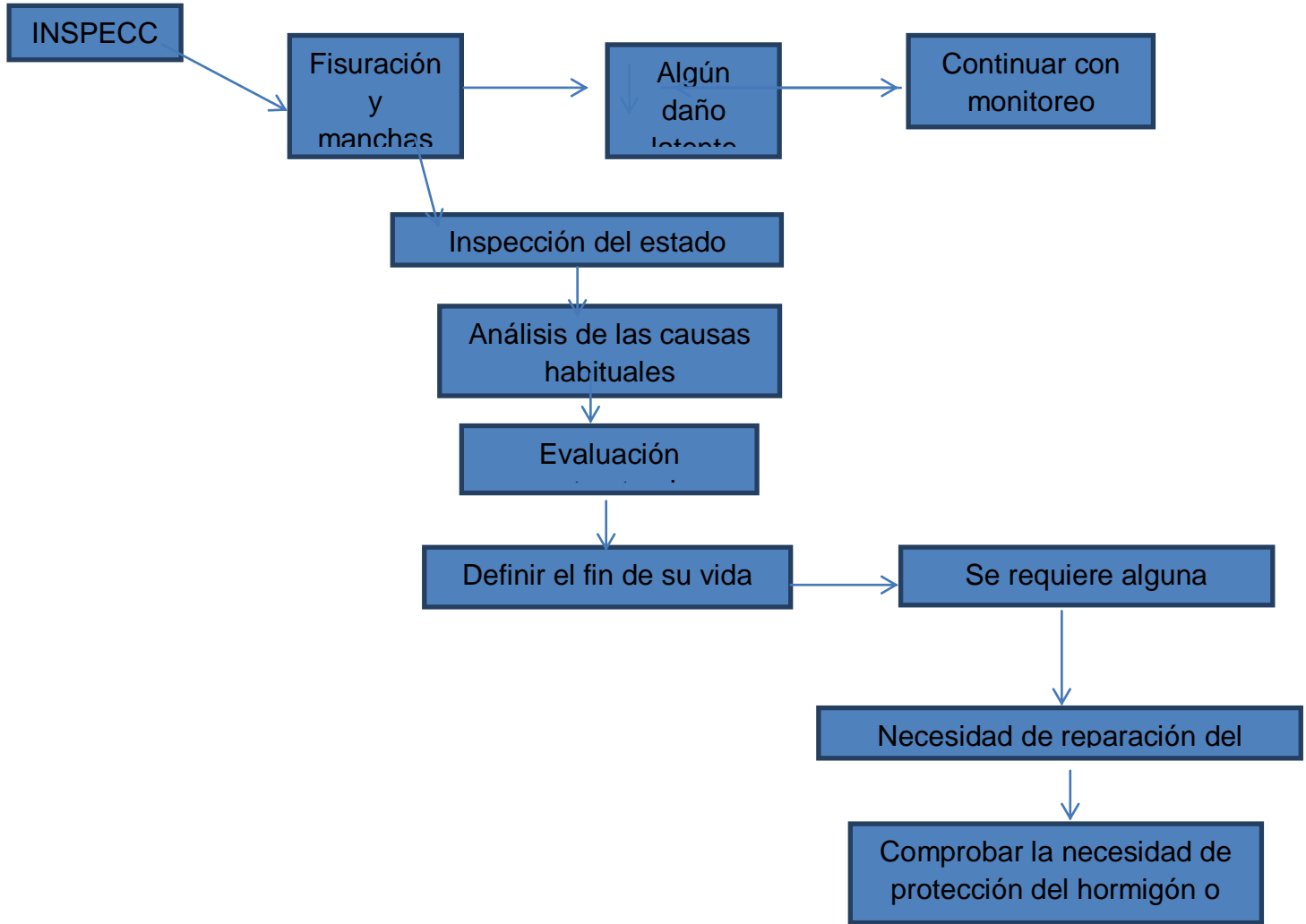
13. ANEXOS

ANEXO I

Manual de rehabilitación de estructuras de concreto INCC Pág. 156 tabla 3.3



Diagrama de flujo UNE-EN 1504



ANEEXO II

Contenido de aire modulo de elasticidad(strain gage)

Sistema de protección	Absorción de agua después de los 28 días de aplicación.	Permeabilidad al cloruro después de 30 días (x10ppm)	Penetracion de dióxido de carbono (%masa)
Control (concreto)	9.5	5.5	2.1
Base acrílico	9.5	1.5	1.0
Base poliuretano	9.2-9.5	3.0-5.5	1.0-1.6
Goma clorada	6.5	1.0	0.8
Base silicona	9.3	0.3	1.7
Silano	2.6	0.1	1.0
Acrílico (top coat)	9.5	0.2	1.0
Sistema doble silano-siloxano/acrílico	2.2	0.1	0.1
*concreto a los 28 días de curado.			

Fuente: Enciclopedia Broto (p. 184)

Métodos de restauración

Principio	Descripción	Método
Principio 1 (PI)	Protección contra la penetración	1.1 Impregnación Hidrófobas
		1.2 Impregnación
		1.3 Revestimiento
		1.4 Fisuras con vendaje local
		1.5 Relleno de fisuras
		1.6 Continuidad de las fisuras a través de las juntas
		1.7 Levantamiento de paneles exteriores
		1.8 Aplicación de membranas
Principio 2 (MC)	Control de la humedad	2.1 Impregnaciones hidrófobas
		2.2 Impregnaciones
		2.3 Revestimiento superficial

		2.4 Levantamiento de paneles exteriores
		2.5 Tratamiento electroquímico
Principio 3 (CR)	Restauración del hormigón	3.1 Aplicación manual del mortero
		3.2 Relleno con hormigón y mortero
		3.3 Proyección de hormigón y mortero
		3.4 Reemplazo de elementos
Principio 4 (SS)	Refuerzo estructural	4.1 Adición o reposición de las barras de acero estructural embebidas o exteriores
		4.2 Instalación de barras de unión en agujeros
		4.3 prefabricados u horadados en el hormigón
		4.4 Adhesión de chapas
		4.5 Adición de mortero u concreto
		4.6 Inyección de fisuras huecos o intersticios
		4.7 Relleno de fisuras huecos o intersticios
		4.8 Pretensados (postensados)
Principio 5 (PR)	Resistencia al ataque	5.1 Capas o revestimiento
		5.2 Impregnación
		5.3 Adición de mortero u concreto
Principio 6 (RC)	Resistencia a productos químicos	6.1 Capas o revestimiento
		6.2 impregnación
		6.3 adición de mortero u concreto
Principio 7 (RP)	Conservación o restauración del pasivado	7.1 incremento del recubrimiento de la armadura con cemento mortero u concreto
		7.2 Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado
		7.3 realcalinización del

		hormigón contaminado por difusión
		7.4 Realcalinización del hormigón carbonatado por difusión
		7.5 Extracción electromagnética de los iones cloruro
Principio 8 (IR)	Incremento de la resistividad	8.1 Impregnación hidrofóbica
		8.2 Impregnación
		8.3 Revestimiento superficial
Principio 9 (CC)	Control catódico	9.1 Limitación del contenido de oxígeno (en el cátodo) por saturación o revestimiento superficial
Principio 10 (CP)	Aplicación de un potencial eléctrico	10.1 Aplicación de un potencial eléctrico
Principio 11 (CA)	Control de áreas anódicas	11.1 Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos
		11.2 Pintado de la armadura con pigmentos barrera
		11.3 Aplicación de inhibidores de corrosión al hormigón

Fuente: UNE 1504-9

Cuadro comparativo de diferentes morteros

Propiedades	Morteros de resina	Morteros hidráulicos
Resistencia compresión (N/mm <sup>2</sup> )	55-110	20-70
Modulo elástico (N/cm <sup>2</sup> )	500-25,000	20,000-30,000
Resistencia flexotracción (N/cm <sup>2</sup> )	25-50	2-5
Resistencia tracción (N/cm <sup>2</sup> )	9-20	1.5-3.5
Alargamiento a rotura (%)	0-15	0
Coefficiente de dilatación térmica (mm °C)	25-30x10 <sup>-6</sup>	9-14x10 <sup>-6</sup>
Densidad (Kg/dm <sup>3</sup> )	0.7-2.1	2-2.3
Temperatura máxima en servicio (°C)	40-80	300



<b>Tiempo para alcanzar el 80% de la resistencia.</b>	<b>48 horas</b>	<b>2-4semanas</b>
---	-----------------	-------------------

(Broto 195)

**Ensayos de calidad para cales hidráulicos UNE-41067-8**

<b>Fraguado de muestras</b>	<b>Realizar sobre el 5% de los sacos (mínimo 3 sacos) Se prohíbe tomas muestra de la capa superior</b>
<b>Expansión con agujas de chatelier</b>	<b>La separación de las agujas medida en el extremo debe ser inferior a 10mm para el ensayo hecho en frio al cabo de 7 días, o en caliente al cabo de 3 horas.</b>
<b>Finura</b>	<b>Residuos máximos sobre un tamiz de 0.2 mm. -Para cales fuertemente hidráulicas: máximo del 3% -para cales normales y medianamente hidráulicas: máximo del 10%</b>
<b>Resistencias mecánicas</b>	<b>Se realiza sobre probetas prismáticas de 4x4x16 cm utilizadas en los ensayos RILEM de mortero 1:3 normalizados según normas AFNOR. Al cabo de 28 días habrán de producirse los siguientes valores admisibles (ruptura a compresión): -cales fuertemente hidráulicas: 80kg/cm<sup>2</sup> -cales normales: 40kg/cm<sup>2</sup> -cales medianamente normales: 25kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Determinación del grado de humedad</b>	<b>Según UNE 7094</b>
<b>Residuo insoluble</b>	<b>Según UNE 7095</b>
<b>Contenido en sulfatos y azufre total</b>	<b>Según UNE 7096 y 7097</b>
<b>Contenido en óxido de magnesio</b>	<b>Según UNE 7095</b>
<b>Perdida por calcinación (anhídrido carbónico y agua)</b>	<b>Según UNE 7099</b>

**Propiedades físicas de diferentes morteros y hormigones**

Material	Hormigón de polímeros		Hormigón modificado con poliéster	Hormigón sin polímero
	Resina epoxi	Resina poliéster		
Resistencia a la compresión (Mpa)	55-120	55-120	10-80	20-70
Resistencia a la flexión	20-50	20-50	6-15	2-5
Resistencia a la tracción	9-20	8-17	2-8	1.5-3.5
Modulo elasticidad	0.5-20	2-10	5-30	20-35
Deformación última comp.	0-15	0-6	0-5	2-3.5
Coefficiente de poisson	0.15-0.30	0.15-0.30	0.10-0.30	0.1-0.25
Coefficiente de dilatación	10-30	10-35	8-20	7-12
Temperatura máxima de servicio	40-80	50-80	80-250	300
Absorción agua	0-2	0-2	1-8	4-10
Velocidad de desarrollo	6-48	2-6	1-7	1-4
Resistencia a 20	horas	Horas	Días	Semanas

**ANEXOS III**

Daño en losa de entrepiso desprendimiento del concreto.

**Figura 39** Descascaramientos en losa de entrepiso



Fuente: propia

**Figura 40** Exposición de refuerzo longitudinal



Fuente: propia

**Figura 41 falta de alineamiento**



**Fuente: propia**

**Figura 42 prueba con esclerómetro para obtener la resistencia a compresión de los elementos**



**Fuente: Propia**

**Figura 43** Columna de primer nivel que fue aplicada sin agregar refuerzo



Fuente: propia

**Figura 44** Vista de la entrada principal



Fuente: propia

**Figura 45** Levantamiento de los elementos estructurales



Fuente: propia

**Figura 46** Vista de la parte trasera de la estructura



Fuente: Propia

**Figura 47** Fenolftaleína al 1% disuelta en alcohol.




Fuente: Propia

ANEXOS IV

a) Ficha técnica de Fenolftaleína al 1%

**Material Safety Data Sheet**  
Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol



---

**1. Product and company identification**

Product name : Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol  
 Product code : PX0524  
 Supplier : EMD Chemicals Inc.  
 480 S. Democrat Rd.  
 Gibbstown, NJ 08027  
 856-423-5300 Technical Service  
 Monday-Friday: 8:00 -5:00 PM  
 Synonym : None  
 Material uses : Other non-specified industry: Analytical reagent.  
 Validation date : 9/10/2009.  
 In case of emergency : 800-424-9300 CHEMTREC (USA)  
 613-996-6666 CANUTEC (Canada)  
 24 Hours/Day; 7 Days/Week.

---

**2. Hazards identification**

Emergency overview : **WARNING!**  
 HARMFUL IF INHALED OR SWALLOWED.  
 CAUSES SEVERE EYE IRRITATION.  
 CAUSES DAMAGE TO THE FOLLOWING ORGANS: RESPIRATORY TRACT, SKIN,  
 CENTRAL NERVOUS SYSTEM, EYE, LENS OR CORNEA.  
 SUSPECT CANCER HAZARD - CONTAINS MATERIAL WHICH MAY CAUSE  
 CANCER.  
 FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR.  
 VAPOR MAY CAUSE FLASH FIRE.  
 MAY BE HARMFUL IF ABSORBED THROUGH SKIN.  
 MAY CAUSE SKIN IRRITATION.  
 WARNING: This product contains a chemical known to the State of California to cause  
 cancer.  
 Keep away from heat, sparks and flame. Do not breathe vapor or mist. Do not ingest.  
 Do not get in eyes or on skin or clothing. Avoid contact with skin and clothing. Use only  
 with adequate ventilation. Keep container tightly closed and sealed until ready for use.  
 Wash thoroughly after handling.

Physical state : Liquid.  
 OSHA/HCS status : This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard  
 (29 CFR 1910.1200).  
 Routes of entry : Dermal contact. Eye contact. Inhalation. Ingestion.  
**Potential acute health effects**  
 Inhalation : Toxic by inhalation.  
 Ingestion : Toxic if swallowed.  
 Skin : May be harmful in contact with skin. May cause skin irritation.  
 Eyes : Severely irritating to eyes. Risk of serious damage to eyes.  
**Potential chronic health effects**  
 Carcinogenicity : Contains material which may cause cancer. Risk of cancer depends on duration and  
 level of exposure.  
 Mutagenicity : No known significant effects or critical hazards.  
 Teratogenicity : No known significant effects or critical hazards.  
 Developmental effects : No known significant effects or critical hazards.  
 Fertility effects : No known significant effects or critical hazards.  
 Target organs : Causes damage to the following organs: upper respiratory tract, skin, central nervous  
 system (CNS), eye, lens or cornea.

---

Continued on next page

---

Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V In 70% Iso-Propyl Alcohol PX0524 2/9

**2. Hazards identification**

Medical conditions aggravated by over-exposure : Pre-existing disorders involving any target organs mentioned in this MSDS as being at risk may be aggravated by over-exposure to this product.  
 See toxicological information (section 11)

---

**3. Composition/information on ingredients**

Name	CAS number	% by weight
Isopropyl Alcohol	67-63-0	70
Water	7732-18-5	29
Phenolphthalein	77-09-8	1

---

**4. First aid measures**

Eye contact : Check for and remove any contact lenses. Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Get medical attention immediately.  
 Skin contact : In case of contact, immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse. Get medical attention immediately.  
 Inhalation : Move exposed person to fresh air. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. Get medical attention immediately.  
 Ingestion : Wash out mouth with water. Do not induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical attention immediately.

---

**5. Fire-fighting measures**

Flammability of the product : Flammable liquid. In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst, with the risk of a subsequent explosion. Runoff to sewer may create fire or explosion hazard.  
 Extinguishing media : Use dry chemical, CO<sub>2</sub>, water spray (fog) or foam.  
 Not suitable : Do not use water jet.  
 Special exposure hazards : Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Move containers from fire area if this can be done without risk. Use water spray to keep fire-exposed containers cool.  
 Hazardous thermal decomposition products : Decomposition products may include the following materials:  
 carbon dioxide  
 carbon monoxide  
 Special protective equipment for fire-fighters : Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode.

---

**6. Accidental release measures**

Personal precautions : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Do not touch or walk through spilled material. Shut off all ignition sources. No flames, smoking or flames in hazard area. Do not breathe vapor or mist. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment (see section 8).  
 Environmental precautions : Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers. Inform the relevant authorities if the product has caused environmental pollution (sewers, waterways, soil or air).

Methods for cleaning up

---

Continued on next page

Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol	PX0524	3/9
---	--------	-----

## 6 . Accidental release measures

**Spill** : Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Approach release from upwind. Prevent entry into sewers, water courses, basements or confined areas. Contain and collect spillage with non-combustible, absorbent material e.g. sand, earth, vermiculite or diatomaceous earth and place in container for disposal according to local regulations (see section 13). Use spark-proof tools and explosion-proof equipment. Dispose of via a licensed waste disposal contractor. Contaminated absorbent material may pose the same hazard as the spilled product. Note: see section 1 for emergency contact information and section 13 for waste disposal. Dilute with water and mop up if water-soluble or absorb with an inert dry material and place in an appropriate waste disposal container.

## 7 . Handling and storage

**Handling** : Do not get in eyes or on skin or clothing. Do not breathe vapor or mist. Do not ingest. Use only with adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Do not enter storage areas and confined spaces unless adequately ventilated. Keep in the original container or an approved alternative made from a compatible material, kept tightly closed when not in use. Store and use away from heat, sparks, open flame or any other ignition source. Use explosion-proof electrical (ventilating, lighting and material handling) equipment. Use non-sparking tools. Take precautionary measures against electrostatic discharges. To avoid fire or explosion, dissipate static electricity during transfer by grounding and bonding containers and equipment before transferring material. Empty containers retain product residue and can be hazardous. Do not reuse container.

**Storage** : Store in accordance with local regulations. Store in a segregated and approved area. Store in original container, protected from direct sunlight. Eliminate all ignition sources. Separate from oxidizing materials. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Containers that have been opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage.

## 8 . Exposure controls/personal protection

Ingredient	Exposure limits
Isopropyl Alcohol	<b>ACGIH TLV (United States, 1/2008).</b> TWA: 200 ppm 8 hour(s). STEL: 400 ppm 15 minute(s). <b>OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989).</b> TWA: 400 ppm 8 hour(s). TWA: 980 mg/m <sup>3</sup> 8 hour(s). STEL: 500 ppm 15 minute(s). STEL: 1225 mg/m <sup>3</sup> 15 minute(s). <b>NIOSH REL (United States, 6/2008).</b> TWA: 400 ppm 10 hour(s). TWA: 980 mg/m <sup>3</sup> 10 hour(s). STEL: 500 ppm 15 minute(s). STEL: 1225 mg/m <sup>3</sup> 15 minute(s). <b>OSHA PEL (United States, 11/2006).</b> TWA: 400 ppm 8 hour(s). TWA: 980 mg/m <sup>3</sup> 8 hour(s).

**Consult local authorities for acceptable exposure limits.**

**Engineering measures** : Use only with adequate ventilation. Use process enclosures, local exhaust ventilation or other engineering controls to keep worker exposure to airborne contaminants below any recommended or statutory limits. The engineering controls also need to keep gas, vapor or dust concentrations below any lower explosive limits. Use explosion-proof ventilation equipment.

Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol	PX0524	4/9
---	--------	-----

## 8 . Exposure controls/personal protection

**Hygiene measures** : Wash hands, forearms and face thoroughly after handling chemical products, before eating, smoking and using the lavatory and at the end of the working period. Appropriate techniques should be used to remove potentially contaminated clothing. Wash contaminated clothing before reusing. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.

**Personal protection**

**Respiratory** : Use a properly fitted, air-purifying or air-fed respirator complying with an approved standard if a risk assessment indicates this is necessary. Respirator selection must be based on known or anticipated exposure levels, the hazards of the product and the safe working limits of the selected respirator.

**Hands** : Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary. Recommended: neoprene

**Eyes** : Safety eyewear complying with an approved standard should be used when a risk assessment indicates this is necessary to avoid exposure to liquid splashes, mists or dusts. Recommended: splash goggles

**Skin** : Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.  
Recommended: lab coat

**Environmental exposure controls** : Emissions from ventilation or work process equipment should be checked to ensure they comply with the requirements of environmental protection legislation. In some cases, fume scrubbers, filters or engineering modifications to the process equipment will be necessary to reduce emissions to acceptable levels.

## 9 . Physical and chemical properties

**Physical state** : Liquid.

**Flash point** : Closed cup: 11.667°C (53°F). approx.

**Color** : Colorless.

**Odor** : Not available.

**pH** : Not available.

**Boiling/condensation point** : Not available.

**Melting/freezing point** : Not available.

**Relative density** : Not available.

**Vapor pressure** : Not available.

**Vapor density** : Not available.

**Odor threshold** : Not available.

**Evaporation rate** : Not available.

**Solubility** : Soluble in the following materials: water

## 10 . Stability and reactivity

**Chemical stability** : The product is stable.

**Possibility of hazardous reactions** : Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.

**Hazardous polymerization** : Under normal conditions of storage and use, hazardous polymerization will not occur.

**Conditions to avoid** : Avoid all possible sources of ignition (spark or flame). Do not pressurize, cut, weld, braze, solder, drill, grind or expose containers to heat or sources of ignition.

**Materials to avoid** : Highly reactive or incompatible with the following materials: oxidizing materials. Reactive or incompatible with the following materials: acids.

**Hazardous decomposition products** : Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

Continued on next page



Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol PX0524 5/9

## 10 . Stability and reactivity

**Conditions of reactivity** : Highly flammable in the presence of the following materials or conditions: open flames, sparks and static discharge, heat, shocks and mechanical impacts and oxidizing materials.  
Highly explosive in the presence of the following materials or conditions: open flames, sparks and static discharge, heat, shocks and mechanical impacts and oxidizing materials.

## 11 . Toxicological information

Product/ingredient name	Test Route	Species	Result
Isopropyl Alcohol	LD50 Dermal	Rabbit	12800 mg/kg
	LD50 Intraperitoneal	Rat	2735 mg/kg
	LD50 Oral	Rat	1088 mg/kg
	LD50 Oral	Rat	5045 mg/kg
	LD50 Oral	Rat	5000 mg/kg
	LD50 Oral	Rabbit	6410 mg/kg
	LDLo Oral	Dog	1537 mg/kg
	LDLo Oral	Human	3570 mg/kg
	LDLo Oral	Man	5272 mg/kg
	TDLo	Rat	800 mg/kg
Phenolphthalein	Intraperitoneal LC50 Inhalation Gas	Rat	16000 ppm
	LD Oral	Rat	> 1 g/kg
	LDLo	Rat	500 mg/kg
	Intraperitoneal TDLo Subcutaneous	Rat	95 mg/kg

Product/ingredient name	ACGIH	IARC	EPA	NIOSH	NTP	OSHA
Isopropyl Alcohol	A4	3	-	None	-	-
Phenolphthalein	-	2B	-	-	Possible	-

**Carcinogenicity**  
Contains material which may cause cancer. Risk of cancer depends on duration and level of exposure.

**Mutagenicity**  
No known significant effects or critical hazards.

**Teratogenicity**  
No known significant effects or critical hazards.

## 12 . Ecological information

Product/ingredient name	Result	Species	Exposure
Isopropyl Alcohol	Acute EC50 10000 mg/L	Fish	48 hours
	Acute LC50 10400 mg/L	Fish	96 hours
	Acute LC50 11130 mg/L	Fish	96 hours
	Acute LC50 9640 mg/L	Fish	96 hours
	Acute LC50 6550 mg/L	Fish	96 hours
	Acute LC50 >1400 mg/L	Fish	96 hours
	Acute LC50 >1400000 ug/L	Fish - Western mosquitofish - Gambusia affinis - 20 to 30 mm	96 hours
	Acute LC50 1400000 to 1950000 ug/L Marine	Crustaceans - Common shrimp, sand shrimp -	48 hours

Continued on next page

Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol PX0524 6/9

## 12 . Ecological information


water	Crangon crangon	96 hours
Acute LC50 11130000 ug/L Fresh water	Fish - Fathead minnow - Pimephales promelas - Juvenile (Fledgling, Hatchling, Weanling) - 4 to 8 weeks - 1.1 to 3.1 cm	96 hours
Acute LC50 10400000 to 10600000 ug/L Fresh water	Fish - Fathead minnow - Pimephales promelas - 29 days - 20 mm - 0.103 g	96 hours
Acute LC50 9640000 to 10000000 ug/L Fresh water	Fish - Fathead minnow - Pimephales promelas - 31 days - 20.6 mm - 0.117 g	96 hours
Acute LC50 6550000 to 7450000 ug/L Fresh water	Fish - Fathead minnow - Pimephales promelas - 31 days - 17.4 mm - 0.082 g	96 hours
Acute LC50 4200000 ug/L Fresh water	Fish - Harlequinfish, red rasbora - Rasbora heteromorpha - 1 to 3 cm	96 hours

**Environmental effects** : No known significant effects or critical hazards.  
**Other adverse effects** : No known significant effects or critical hazards.

## 13 . Disposal considerations

The information presented only applies to the material as supplied. The identification based on characteristic(s) or listing may not apply if the material has been used or otherwise contaminated. It is the responsibility of the waste generator to determine the toxicity and physical properties of the material generated to determine the proper waste identification and disposal methods in compliance with applicable regulations. Disposal should be in accordance with applicable regional, national and local laws and regulations.

## 14 . Transport information

Regulatory Information	UN number	Proper shipping name	Classes	PG*	Label	Additional Information
DOT Classification	UN1219	ISOPROPANOL SOLUTION	3	II		-

PG\* : Packing group

## 15 . Regulatory information

<b>United States</b>	<p><b>HCS Classification</b> : Flammable liquid Toxic material Irritating material Carcinogen Target organ effects</p> <p><b>U.S. Federal regulations</b> : TSCA 4(a) final test rules: Isopropyl Alcohol <b>United States Inventory (TSCA 8b)</b>: All components are listed or exempted. TSCA 8(d) H and S data reporting: Isopropyl Alcohol : 1986 TSCA 12(b) one-time export: Isopropyl Alcohol TSCA (Toxic Substance Control Act): This product is listed on the TSCA Inventory.</p>
----------------------	---

Continued on next page

Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol
PX0524
7/9

## 15 . Regulatory information

SARA 302/304/311/312 extremely hazardous substances: No products were found.  
 SARA 302/304 emergency planning and notification: No products were found.  
 SARA 302/304/311/312 hazardous chemicals: Isopropyl Alcohol ; Phenolphthalein  
 SARA 311/312 MSDS distribution - chemical inventory - hazard identification: Isopropyl Alcohol Fire hazard, Immediate (acute) health hazard, Delayed (chronic) health hazard; Phenolphthalein: Immediate (acute) health hazard, Delayed (chronic) health hazard  
 Clean Water Act (CWA) 307: No products were found.  
 Clean Water Act (CWA) 311: No products were found.  
 Clean Air Act (CAA) 112 accidental release prevention: No products were found.  
 Clean Air Act (CAA) 112 regulated flammable substances: No products were found.  
 Clean Air Act (CAA) 112 regulated toxic substances: No products were found.

DEA List I Chemicals (Precursor Chemicals) : Not listed  
 DEA List II Chemicals (Essential Chemicals) : Not listed

**SARA 313**

Form R - Reporting requirements	Product name	CAS number	Concentration
Supplier notification	Isopropyl Alcohol	67-63-0	70
Supplier notification	Isopropyl Alcohol	67-63-0	70

SARA 313 notifications must not be detached from the MSDS and any copying and redistribution of the MSDS shall include copying and redistribution of the notice attached to copies of the MSDS subsequently redistributed.

Connecticut Carcinogen Reporting : None of the components are listed.  
 Connecticut Hazardous Material Survey : None of the components are listed.  
 Florida substances : None of the components are listed.  
 Illinois Chemical Safety Act : None of the components are listed.  
 Illinois Toxic Substances Disclosure to Employee Act : None of the components are listed.  
 Louisiana Spill : None of the components are listed.  
 Louisiana Reporting : None of the components are listed.  
 Massachusetts Spill : None of the components are listed.  
 Massachusetts Substances : The following components are listed: Isopropyl Alcohol  
 Minnesota Hazardous Substances : None of the components are listed.  
 Michigan Critical Material : None of the components are listed.  
 New Jersey Toxic Catastrophe Prevention Act : None of the components are listed.  
 New Jersey Spill : None of the components are listed.  
 New Jersey Hazardous Substances : The following components are listed: Isopropyl Alcohol ; Water; Phenolphthalein  
 New York Toxic Chemical Release Reporting : None of the components are listed.  
 New York Acutely Hazardous Substances : None of the components are listed.  
 Pennsylvania RTK Hazardous Substances : The following components are listed: Isopropyl Alcohol

Continued on next page

Phenolphthalein Indicator Solution, 1% W/V in 70% iso-Propyl Alcohol
PX0524
8/9

## 15 . Regulatory information

Rhode Island Hazardous Substances : None of the components are listed.

**California Prop. 65**

WARNING: This product contains a chemical known to the State of California to cause cancer.

Ingredient name	Cancer	Reproductive	No significant risk level	Maximum acceptable dosage level
Phenolphthalein	Yes.	No.	No.	No.

**Canada**


WHMIS (Canada) : Class B-2: Flammable liquid  
 Class D-2A: Material causing other toxic effects (Very toxic).  
 Class D-2B: Material causing other toxic effects (Toxic).

Canadian lists : CEPA Toxic substances: None of the components are listed.  
 Canadian ARET: None of the components are listed.  
 Canadian NPRI: The following components are listed: Isopropyl alcohol  
 Alberta Designated Substances: None of the components are listed.  
 Ontario Designated Substances: None of the components are listed.  
 Quebec Designated Substances: None of the components are listed.

CEPA DSL / CEPA NDSL : All components are listed or exempted.

This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Controlled Products Regulations and the MSDS contains all the information required by the Controlled Products Regulations.

**EU regulations**

Hazard symbol or symbols : 

Risk phrases : R11- Highly flammable.  
 R36- Irritating to eyes.  
 R67- Vapors may cause drowsiness and dizziness.

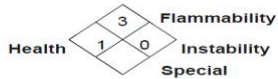
Safety phrases : S2- Keep out of the reach of children.  
 S46- If swallowed, seek medical advice immediately and show this container or label.

**International regulations**

International lists : Australia inventory (AICS): All components are listed or exempted.  
 China inventory (IECSC): Not determined.  
 Japan inventory (ENCS): All components are listed or exempted.  
 Japan inventory (ISHL): Not determined.  
 Korea inventory (KECI): All components are listed or exempted.  
 New Zealand Inventory of Chemicals (NZIoC): Not determined.  
 Philippines inventory (PICCS): All components are listed or exempted.

## 16 . Other information

National Fire Protection Association (U.S.A.) :



Notice to reader

Continued on next page

Phenolphthalein Indicator Solution, 1%  
W/V in 70% iso-Propyl Alcohol

PX0524

9/9

## 16 . Other information

The statements contained herein are based upon technical data that EMD Chemicals Inc. believes to be reliable, are offered for information purposes only and as a guide to the appropriate precautionary and emergency handling of the material by a properly trained person having the necessary technical skills. Users should consider these data only as a supplement to other information gathered by them and must make independent determinations of suitability and completeness of information from all sources to assure proper use, storage and disposal of these materials and the safety and health of employees and customers and the protection of the environment. EMD CHEMICALS INC. MAKES NO REPRESENTATION OR WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR USE, WITH RESPECT TO THE INFORMATION HEREIN OR THE PRODUCT TO WHICH THE INFORMATION REFERS.

## b) FICHAS TECNICAS DE MATEIRALES DE RESTAURACION



Protección del Concreto  
Kit Antisalitre

### Kit Antisalitre

Paquete de productos para prevenir y eliminar el salitre, la humedad, hongos y moho en muros y fachadas.

#### Descripción

Kit Antisalitre es un paquete de productos conformado por: **SikaCem Impermeabilizante**, **Sikalatex-N**, **Sika ImperMuro** y **Sikaflex-1a** diseñados para prevenir y eliminar el Salitre, humedad, hongos, y moho en los muros y fachadas.

#### Usos

- Mantenimiento de muros interiores y exteriores con salitre, humedad, moho, hongos.
- En obra nueva prolongo o evita la aparición de salitre en los muros interiores y exteriores.
- Eliminar o prolonga la aparición de manchas negras o verdes en los muros interiores y exteriores.
- Sistema integral impermeable para cualquier tipo de estructura que evita el paso de la humedad.

#### Ventajas

- Paquete de productos específicos para eliminar o prevenir el salitre y la humedad.
- Optimización de costos ya que elimina los re-trabajos.
- Mejor costo-desempeño.
- Elimina o evita la aparición de manchas negras o verdes en los muros.

#### Datos Técnicos

Paquete de productos formados por:  
**SikaCem Impermeabilizante** (ver ficha técnica del producto)  
**Sikalatex-N** (ver ficha técnica del producto)  
**Sika ImperMuro** (ver ficha técnica del producto)  
**Sikaflex-1a** (ver ficha técnica del producto)

#### Aplicación

##### Preparación de la superficie

**Para obra de mantenimiento:** retirar el mortero, yeso, estuco, pasta o pintura que estén dañados o tenga salitre, manchas negras o verdes y desprendimiento, retirar hasta llegar a un sustrato sano (block, aplanado o concreto). Limpie el polvo y partículas sueltas y dejar respirar la superficie de 3 a 7 días dependiendo el grado de humedad que presente.

**Para obra nueva:** La superficie debe estar seca, libre de polvo y partículas sueltas. En caso de humedad excesiva en el muro deje respirar la superficie de 3 a 7 días antes de aplicar el sistema.

##### Aplicación del sistema Antisalitre

**Paso 1:** sellar las grietas y juntas con **Sikaflex-1a** (sellador de poliuretano).

**Paso 2:** Aplique dos capas de **Sika Imper Muro** directamente sobre superficie después de los 3 a 7 días que se dejó respirar. El **Sika ImperMuro** se aplica con brocha o rodillo como sellador sin diluir para formar una barrera impermeable, además es un endurecedor superficial.

**Paso 3:** Prepare un mortero para aplanado de acuerdo a la siguientes dosificaciones:

Mezcle los polvos:

- 1 saco de cemento de 50 kg
- 1 bolsa de **SikaCem Impermeabilizante** (impermeabilizante integral).
- 5 cubetas de 19 L de Arena 0-3 mm

Mezcle los líquidos:

- 13 a 15 Litros de agua (dependiendo la fluidez deseada).
- 3 Litros de **Sikalatex-N** (aditivo mejorador de adherencia).

Finalmente añadir los líquidos a los polvos y mezclar continuamente durante 3 a 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.

El mortero para aplanado rinde de 3 a 5 m<sup>2</sup> a un espesor de 2 a 3 mm. Dependiendo la irregularidad de la superficie.

**Paso 4:** aplique con llana el mortero para aplanado sobre el **Sika ImperMuro** (área a reparar). Cure la superficie reparada para evitar agrietamientos. Una vez que ha secado aplicar la pintura o pasta.



## Consumos / rendimiento

El **Kit Antisalitre** le rinde para reparar 3 a 5 m<sup>2</sup> a un espesor de 2 a 3 mm.

**Sikaflex-1a** rinde 3 metros lineales en junta de 1 cm x 1 cm.

**Sika ImperMuro** rinde 4 m<sup>2</sup>/L a dos manos. No se debe diluir.

**SikaCem Impemeabilizante** se dosifica una bolsa por saco de 50 kg de cemento.

**Sikalatex-N** para mejorador de adherencia de mortero para aplanado se utiliza 3 L por saco de cemento de 50 kg.

## Limpieza de Herramientas

Las herramientas se lavan con agua si el producto está aún fresco. Si ya está seco utilice **Sika Limpiador**.

## Condiciones de Aplicación / Limitaciones

- » La temperatura mínima de aplicación es de +15°C.
- » La temperatura máxima de aplicación es de 40°C.
- » Para exteriores si se avecina lluvia no aplique el producto ya que se puede deslavar.
- » No lo mezcle con otros productos.
- » No aplique el producto en tiempo húmedo o sobre superficies mojadas.
- » El curado de la superficie reparada disminuye la posibilidad de aparición de fisuras.
- » El **Kit Antisalitre** es incapaz de prevenir el daño causado por la condensación sobre muros fríos (por ejemplo en habitaciones mal ventiladas).
- » Se recomienda aplicar una pintura sobre el mortero de reparación aplicado.
- » Se recomienda realizar pruebas de campo preliminares antes de una completa aplicación.

## Medidas de Seguridad y desecho de residuos

En caso de contacto con la piel lave la zona afectada inmediatamente con agua y jabón.

En caso de contacto con los ojos lave inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos y acuda inmediatamente al médico. En caso de ingestión no provoque el vómito y acuda al médico.

Desechar el producto una vez que haya polimerizado en su totalidad ya que de esta manera el residuo no es peligroso. Consultar la hoja de seguridad del producto.

## Almacenamiento

12 (doce) meses a partir de la fecha de elaboración, si se almacena en su empaque original sellado, en lugar seco, bajo techo, a temperaturas entre 5 °C y 30 °C.

## Sika® CarboDur®

Lámina de fibra de carbono para reforzamiento estructural.

### Descripción

Sika® CarboDur® son láminas de polímero reforzado con fibras de carbono fabricadas mediante proceso de pultrusión, diseñadas para reforzamiento de estructuras de concreto, madera y mampostería.

Las láminas Sika® CarboDur® se adhieren a las estructuras como refuerzo externo mediante la resina epóxica Sikadur®-30 (para detalles del adhesivo, consultar su respectiva Hoja Técnica).

### Usos

Para reforzar estructuras por:

- Incremento de cargas:
  - Aumentando la capacidad de losas y trabes
  - Aumentando la capacidad de puentes por actualización de cargas vehiculares
  - Instalación de maquinaria pesada
  - Cambios en el uso de la estructura
- Daño en elementos estructurales:
  - Deterioro de los materiales de construcción
  - Corrosión en el acero de refuerzo
  - Impacto de vehículos
  - Incendios
  - Terremotos
- Mejoramiento de la capacidad de servicio:
  - Reducción de deformaciones
  - Reducción de esfuerzos en el acero de refuerzo
  - Reducción del ancho de fisuras
  - Reducción de fatiga
- Modificaciones del sistema estructural:
  - Eliminación de muros o columnas
  - Eliminación de secciones en losas para aberturas de vanos
- Actualización de estructuras a reglamentos y normas vigentes:
  - Sísmico
  - Cambio de filosofía de diseño
- Errores de diseño o construcción:
  - Acero de refuerzo insuficiente o inadecuado
  - Dimensiones insuficientes de los elementos estructurales

### Ventajas

- No se corroe.
- Muy alta resistencia.
- Excelente durabilidad.
- Muy bajo peso propio.
- Disponible en cualquier longitud, mínima necesidad de traslapes.
- Muy bajo espesor del sistema, puede pintarse o recubrirse.
- Fácil manejo y transporte (en rollos).
- Gran facilidad para ejecutar cruces o intersecciones de las láminas.
- Extremadamente fácil de instalar, especialmente en posición sobre-cabeza.
- Sobresaliente resistencia a la fatiga.
- Requiere mínima preparación de la placa.
- Alta resistencia a la alcalinidad.
- Bordes libres de fibras expuestas gracias al proceso de fabricación por pultrusión.
- Sistema aprobado por la industria de la construcción en numerosos países.

### Aprobaciones

**Alemania:** Deutsches Institut für Bautechnik Z-36.12-29, 2002: General Construction Authorization for Sika® CarboDur®.

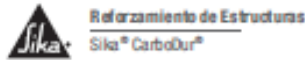
**Francia:** SOCOTEC Rapport No. HX0823, 2000: Rapport d'enquête technique/cashier des charges – Sika® CarboDur® / SikaWrap®.

**Noruega:** NBI Teknisk Godkjenning, NBI Technical Approval, No. 2178, 2001.

**Eslovenia:** ZAG, Technical Approval No. S418/99-620-2, za uporabo nacina ojacitev armirano betonskih in prednapetih elementov konstrukcij z dolepljenjem lamel iz karbonskih vlaken "Sika® CarboDur®" v Republiki Sloveniji.

**Eslovaquia:** TSUS, Building Testing and Research Institutes, Technical approval No. 5502A/02/0633/0/004, 2003: Systém dodacného zosilnovania zelezobetonových a drevenych konstrukcii Sika® CarboDur®.

**Polonia:** Instytut badawczy drog i mostow, Technical Approval No. AT/2003-04-0336, System materialow Sika® CarboDur® do wzmacniania konstrukcji obiektow mostowich.



## Datos del Sistema

**Sika® CarboDur® + Sikadur®-30**

## Detalles de Aplicación

### Consumos

Ancho de la lámina	Sikadur®-30
10 cm	0.8 kg/m
5 cm	0.45 kg/m

Estos consumos contemplan el desperdicio del material bajo condiciones normales de trabajo y pueden variar dependiendo de la rugosidad del sustrato y de la cantidad de traslapes o intersecciones.

### Calidad del sustrato

#### Planicidad y nivelación

La superficie a reforzar deberá estar nivelada, con variaciones y marcas de cimbra no mayores de 0.5 mm. La planicidad y nivelación del sustrato debe verificarse con regla metálica. Las tolerancias máximas son de 10 mm en una longitud de 2 m y 4 mm en una longitud de 30 cm.

La resistencia del sustrato (concreto, mampostería o piedra) debe verificarse siempre: la resistencia a la tensión promedio del sustrato de concreto preparado debe ser de 2 MPa (20 kg/cm<sup>2</sup>), pero nunca menor a 1.5 MPa (15 kg/cm<sup>2</sup>). Si no es posible obtener estas resistencias puede verificarse la aplicabilidad de los sistemas de tejidos SikaWrap® como alternativa.

El concreto a reforzar deberá tener una edad mínima de 28 días (dependiendo del ambiente y resistencias).

### Preparación del Sustrato

#### Concreto y mampostería:

Sanos, secos, limpios y libre de lechada, agua estancada, grasa, aceites, recubrimientos antiguos y partículas sueltas.

El concreto debe limpiarse y prepararse hasta quedar libre de lechada y contaminantes, con una superficie de textura abierta.

Las reparaciones y nivelaciones que requiera la superficie deberán realizarse con mortero de reparación estructural como el Sikadur®-30 mezclado con Sikadur® Arena

en una proporción que no exceda de 1:0.8 medida en peso. Para adaptarse a las condiciones particulares de cada obra, se deberán realizar pruebas en campo de la aplicación y trabajabilidad del mortero elaborado.

Si las irregularidades son mayores o existe un espesor considerable de concreto débil o deteriorado por presencia de corrosión, consultar al Departamento Técnico de Sika para mayor información sobre la manera de proceder.

#### Madera:

Preparada por cepillado, esmerilado o sandblastado. El polvo debe retirarse con aspiradora.

#### Acero:

Preparado por chorro de arena o granallado, libre de grasas, aceite o corrosión y cualquier otro contaminante que inhiba la adherencia. Utilice un primario de protección adecuado.

Se deberá evitar la condensación de humedad (punto de rocío) en las superficies tanto del sustrato como de los materiales de refuerzo.

## Condiciones de Aplicación

Las condiciones de aplicación son las descritas en la Hoja Técnica del Sikadur®-30. Refiérase a ella para mayores detalles.

## Método de Aplicación / Herramientas

Colocar la placa Sika® CarboDur® en una superficie lisa, preferentemente una mesa de trabajo, limpiar la superficie a pegar mediante Sika® Limpiador con un paño blanco hasta verificar que se encuentre completamente limpia. Esperar a que el solvente de limpieza haya secado completamente en la superficie de la lámina. Aplicar el adhesivo Sikadur®-30 sobre la superficie previamente preparada y limpia, mediante espátula para formar una capa de aproximadamente 1 mm de espesor. Coloque el Sikadur®-30 sobre la placa CarboDur® mediante una espátula labrada con forma de "domo", con espesor mínimo de 1 mm en los extremos y máximo de 2 mm al centro.

Dentro del tiempo del pot life del adhesivo, coloque la placa Sika® CarboDur® recubierta con el Sikadur®-30 sobre el concreto ya untado con el adhesivo. Utilizando un rodillo de hule macizo u otra herramienta similar



que pueda proporcionar una presión uniforme, presione la placa sobre el adhesivo hasta expulsar material por ambos lados de la misma. Remueva el exceso de producto, tratando de dejar un chaffán del adhesivo en los bordes de la lámina.

Traslapes o capas múltiples:

En caso de cruces entre láminas, la placa ya colocada deberá limpiarse con **Sika® Limpiador** antes de colocar el adhesivo para la segunda capa. Si se requiere colocar más de una capa, las láminas se deberán limpiar por ambas caras.

## Limpieza de Herramientas

Limpiar inmediatamente todas las herramientas con **Sika® Limpiador**. El adhesivo **Sikadur®-30** una vez que ha endurecido solo puede retirarse por medios mecánicos.

## Condiciones de Aplicación / Limitaciones

- » Un Ingeniero Estructuralista calificado debe ser el responsable del adecuado diseño del sistema de reforzamiento.
- » Los sistemas indicados en este documento son de carácter estructural y deben diseñarse y colocarse por personal capacitado para este fin.
- » El control de calidad debe ser soportado y/o monitoreado por una autoridad independiente. Las visitas de los asesores técnicos o personal de Sika son con el propósito de hacer observaciones y recomendaciones técnicas y no de supervisión o de control de calidad en el sitio de los trabajos.
- » Solo coloque las láminas dentro del periodo de pot life del **Sikadur®-30**.
- » Se debe tener cuidado cuando se realice el corte de las láminas. Utilice ropa de protección, guantes, lentes de seguridad y protección respiratoria.
- » El sistema **Sika® CarboDur®** debe protegerse de la exposición directa a la luz solar.
- » La temperatura máxima de servicio permisible es de 50 °C.

## Protección contra fuego y rayos UV

En caso de requerirse, las láminas **Sika® CarboDur®** deben protegerse con materiales resistentes a fuego. La superficie expuesta a rayos UV de las láminas **Sika® CarboDur®** debe protegerse con recubrimientos como el **Sika® Uretano Premium** o el **Sikagard® 550 W**.

## Medidas de Seguridad y Manejo de Residuos

Para información y advertencias en el manejo, almacenamiento y disposición seguro de productos químicos, el usuario deberá remitirse a la más reciente versión de la Hoja de Seguridad, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y de seguridad.

Disponga de los residuos de acuerdo a las disposiciones Municipales, Estatales o Federales correspondientes.

## Información adicional

Las Hojas Técnicas de Productos son actualizadas periódicamente. Para asegurar que tenga la versión más actual, visite la sección de hojas técnicas de productos en [www.sika.com.mx](http://www.sika.com.mx). La aplicación adecuada del material es responsabilidad de quien lo aplica. Las visitas en sitio de personal de Sika son únicamente para recomendaciones técnicas, y no para supervisión o control de calidad.



## Sikadur® –30

Adhesivo para pegado estructural.

### Descripción

Sikadur®-30 es un adhesivo de uso estructural de dos componentes, libre de solventes (100% sólidos), elaborado a base de una combinación de resinas epóxicas y agregados especiales, formulado para uso a temperaturas normales de +8 °C a +35 °C.

Cumple con las normas ASTM C-881 y AASHTO M-235.

### Usos

Adhesivo para pegado estructural, particularmente para trabajos de reforzamiento estructural como:

- Láminas de materiales compuestos (Sika® CarboDur®) al concreto, mampostería o madera (para detalles consultar la Hoja Técnica del producto Sika® CarboDur®).
- Placas de acero al concreto (para detalles consultar al Departamento Técnico).

### Ventajas

- Fácil de mezclar y aplicar
- No se requiere de uso de imprimante.
- Alta resistencia a flujo plástico bajo cargas sostenidas.
- Excelente adherencia al concreto, mampostería, piedra, acero, hierro forjado, aluminio, madera y láminas Sika® CarboDur®.

- Su endurecimiento no se ve afectado por alta humedad.
- Adhesivo de uso estructural de altas resistencias mecánicas iniciales y últimas.
- Tixotrópico (de consistencia ideal para aplicaciones en vertical y sobre cabeza).
- Libre de solventes.
- No presenta contracción durante el curado.
- Componentes de diferente color para garantizar el correcto mezclado.
- Alta resistencia a la abrasión e impacto.
- Impermeable a líquidos y vapor de agua.

### Datos del Producto

#### Presentación:

Unidad (componentes A+B) de 3.78 L (7.39 kg)

#### Color:

Componente A: Blanco  
Componente B: Negro  
Mezcla A + B: Gris claro

#### Almacenamiento

24 meses, almacenado en su empaque original sellado, en lugar seco a una temperatura entre 4 °C y 35 °C. Acondicionar el material a una temperatura de entre 18 a 29 °C antes de usar.

### Datos Técnicos

Relación de la mezcla:	3:1 en volumen
Consistencia:	Pasta tixotrópica (no escurre)
Pot life:	70 minutos a 23 °C (1.5 kg)
Temperatura de deflexión:	47 °C (ASTM D648, esfuerzo de 1.8 MPa a 7 días)
Resistencia a la tensión:	252 kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-638 a 7 días)
Elongación a la ruptura:	1% (ASTM D-638 a 7 días)
Módulo de elasticidad:	44 820 kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-638 a 7 días)
Resistencia a flexión (Modulo de rotura):	475 kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-790 a 14 días)
Módulo de elasticidad Tangente de flexión:	119 480 kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-790 a 14 días)





<b>Resistencia a cortante:</b>	250 kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-732 a 14 días)	
<b>Adherencia (ASTM C-882): Concreto endurecido a concreto endurecido</b>	2 días (curado en húmedo)	189 kg/cm <sup>2</sup>
	2 días (curado en seco)	224 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días (curado en húmedo)	217 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Concreto endurecido a acero</b>	2 días (curado en húmedo)	182 kg/cm <sup>2</sup>
	2 días (curado en seco)	209 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días (curado en húmedo)	182 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Absorción de agua:</b>	0.03% (ASTM D570 a 7 días y 24 hr. de inmersión)	

### Resistencia a compresión (ASTM D-695, kg/cm<sup>2</sup>)

	Temperatura		
	4°C	23°C	32°C
4 horas	-	-	385
8 horas	-	245	470
16 horas	-	470	525
1 día	51	545	545
3 días	475	590	580
7 días	560	604	604
14 días	595	604	624
28 días	595	604	632

### Módulo de compresión

27 410 kg/cm<sup>2</sup> (ASTM D-695 a 7 días)

**Nota:** Estos valores pueden variar debido a la cantidad de aire atrapado introducido durante el proceso de mezclado.

### Aplicación Preparación del Sustrato

La superficie del concreto debe prepararse al perfil mínimo de superficie de concreto (CSP-3) definido en la plantilla de perfil de superficie del Instituto Internacional de Reparación del Concreto (ICRI). Las desviaciones de planicidad de la superficie no deben ser mayores a 1 mm. La superficie debe estar limpia y sana, seca o húmeda, pero libre de agua estancada. Remover de la superficie polvo, lechada, grasa, curadores, impregnaciones, ceras, partículas extrañas, materiales en proceso de desintegración y cualquier material que pueda inhibir la adherencia. Las irregularidades fuera de tolerancia deben rellenarse con un mortero de reparación apropiado (elaborado con Sikadur®-30 agregándole máximo 0.8 partes de arena sílica seca Sikadur® Arena. Deberán realizarse pruebas para encontrar la relación más adecuada dependiendo de la consistencia requerida). La resistencia a la tensión del concreto debe verificarse después de la preparación de la superficie mediante pruebas de adherencia aleatorias (pull off ACI 503R). La resistencia mínima a la tensión del concreto debe ser de 1.4 MPa (14.3 kg/cm<sup>2</sup>) con falla en el concreto base.

### Sistemas de preparación:

**Concreto:** Chorro de arena, copa de diamante o cualquier otro medio mecánico que produzca una superficie rugosa y limite al máximo la microfisuración.

**Acero:** Chorro de arena o escarificado mecánico a metal blanco.

**Sika® CarboDur®:** Limpieza con Sika® Limpiador.



## Sika Monotop® –412 SM

Mortero de reparación estructural de aplicación manual y por proyección.

### Descripción del Producto

Sika Monotop® –412 SM es un mortero de reparación estructural base cemento, de un solo componente, reforzado con fibras, de baja contracción, listo para su uso en aplicaciones de altos espesores sin necesidad de cimbra.

### Usos

- Para trabajos de reparación de desprendimientos, oquedades o deterioros en elementos de concreto simple o armado en cualquier tipo de estructura.
- Adecuado para trabajos de refuerzo estructural mediante el incremento de la capacidad de carga de la estructura de concreto al adicionar el mortero.
- Adecuado para trabajos de preservación o restauración de la pasividad en el acero de refuerzo mediante el incremento del espesor de recubrimiento y reemplazo del concreto carbonatado y/o contaminado.

### Ventajas

- Excelente trabajabilidad, incluso a temperaturas ambientales altas.
- Adecuado para aplicación a mano y por proyección.
- Se puede aplicar en espesores de capa de hasta 50 mm.
- Para reparaciones estructurales.
- Alta resistencia a sulfatos.
- Por su baja contracción y refuerzo con fibras, tiene reducida tendencia a fisurarse.
- Buena adherencia, incluso sin productos adicionales como puente de unión.
- Baja permeabilidad a cloruros.
- Clasificación al fuego A1.

### Datos de Producto

**Apariencia/Color:** Polvo gris  
**Presentación:** Saco de 25 Kg

**Condiciones de Almacenamiento/Conservación:**  
9 meses desde su fecha de fabricación, en su empaque de origen, bien cerrado y no deteriorado, almacenado en un lugar seco, fresco y protegido de las heladas.

### Datos Técnicos

**Base Química:** Cemento sulforresistente, áridos seleccionados y aditivos especiales.

**Densidad:** Densidad del mortero fresco – 2.10 kg/L

**Granulometría:** D<sub>máx</sub>: 2.4 mm

**Espesor por capa:**  
6 mm mín. / 50 mm máx., en vertical  
6 mm mín. / 30 mm máx., sobre cabeza

### Propiedades Mecánicas/Físicas

#### Resistencia a Compresión

1 día	~ 18 MPa (183 kg/cm <sup>2</sup> )
3 días	~ 30 MPa (306 kg/cm <sup>2</sup> )
7 días	~ 40 MPa (408 kg/cm <sup>2</sup> )
28 días	~ 54 MPa (550 kg/cm <sup>2</sup> )

#### Resistencia a la tracción por flexión

1 día	~ 3.9 MPa (30 kg/cm <sup>2</sup> )
7 días	~ 6.5 MPa (66 kg/cm <sup>2</sup> )
28 días	~ 8.0 MPa (82 kg/cm <sup>2</sup> )

### Requerimientos de acuerdo a EN 1504–3 Clase R4.

Ensayado con una relación agua/polvo = 15%

	Ensayo	Resultados	Requerimientos (R4)
Resistencia a compresión	EN 12190	54 (MPa) (550 kg/cm <sup>2</sup> )	>45 MPa
Contenido de ión cloro	EN 1015	~ 0.03%	< 0.05%



Morteros Listos  
Sika Monotop® –412 SM

Absorción capilar	EN 13057	- 0.1 kg/m-2h-0.5	< 0.5 kg-m-2h-0.5
Resistencia a la carbonatación	EN 13295	Pasa: menor que el control	Concreto de control tipo MC(0.45), dk= 5 mm
Módulo de elasticidad	EN 13412	- 30 GPa (305,800 kg/cm <sup>2</sup> )	> 20 GPa
Compatibilidad Térmica. Enfriamiento brusco	EN 13687-2	- 2.1 MPa (21.4 kg/cm <sup>2</sup> )	> 2.0 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Compatibilidad Térmica. Ciclos térmicos en seco	EN 13687-4	- 2.1 MPa (21.4 kg/cm <sup>2</sup> )	> 2.0 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Adherencia	EN 1542	- 2.4 MPa (24.5 kg/cm <sup>2</sup> )	> 2.0 N/mm <sup>2</sup> (MPa)

### Aplicación

#### Consumo

Depende de la rugosidad del soporte y el espesor de capa aplicada. Como aproximación, se utilizan - 19 kg por m<sup>2</sup> por cada cm de espesor.

1 saco rinde aproximadamente 13.7 litros de mortero.

#### Calidad del sustrato

##### Concreto

El concreto debe estar libre de polvo, material suelto o mal adherido, contaminantes superficiales y materiales que puedan reducir la adherencia o impedir la humectación de los materiales de reparación.

##### Acero de refuerzo

Se deben eliminar totalmente restos de óxido, mortero, polvo y otros materiales que puedan impedir la adherencia o que contribuyan a la corrosión.

También se deben contemplar los requerimientos específicos de la EN 1504-10.

#### Preparación del sustrato/ Imprimación

##### Concreto

Se debe eliminar el concreto delaminado, débil, deteriorado y contaminado o si es necesario, concreto sano, por medios mecánicos adecuados o chorro de agua a alta presión.

Se deben eliminar, donde sea posible, alambres de amarres, puntas y otros restos metálicos que estén embebidos en el concreto.

Los bordes donde se haya eliminado concreto deben tener un ángulo mínimo de 90° y máximo de 135° para reducir

la posibilidad de desprendimientos con la superficie adyacente de concreto sano.

Asegurarse de que se ha eliminado suficiente concreto alrededor de las barras de acero de refuerzo para permitir que el material de reparación la rodee y se pueda compactar.

##### Acero de refuerzo:

Las superficies se deben preparar utilizando técnicas de chorro abrasivo de arena o agua a alta presión.

##### Imprimación de adherencia:

Normalmente no se necesita imprimación sobre una superficie preparada con rugosidad adecuada. Cuando no se requiera imprimación, es necesaria una humectación superficial previa del sustrato. No se debe dejar que la superficie seque antes de aplicar el mortero de reparación. La superficie debe adquirir una apariencia mate oscura, sin brillos y sin encharcamientos al momento de la aplicación.

Cuando sea necesario un puente de adherencia, aplicar SikaTop® Armatec 110 Epocem® o Sikadur® 32 (consultar Hojas Técnicas). La aplicación posterior del mortero se debe hacer "fresco sobre fresco", cuando el puente de adherencia todavía no ha endurecido.

##### Recubrimiento del acero:

Cuando sea requerido proteger con un recubrimiento el acero de refuerzo como barrera de protección, usar SikaTop® Armatec 110 Epocem® aplicando uniformemente en toda la superficie del acero (consultar Hoja Técnica).



## Condiciones de Aplicación

Temperatura del Sustrato: min. +5°C / max. +35°C

Temperatura Ambiente: min. +5°C / max. +35°C

## Instrucciones de Aplicación

### Proporciones de mezcla

– 3.65 a 3.9 litros de agua por 25 kg de polvo

### Mezclado

Sika Monotop® –412 SM se puede mezclar con un taladro manual de bajas revoluciones o con un mezclador adecuado para morteros (<500 rpm) o, para aplicación con máquina de lanzado, utilizando un mezclador especial para 2 o 3 sacos. Sika Monotop® –412 SM se puede mezclar también manualmente, pero se debe asegurar que se consiga una mezcla uniforme.

Verter 3.65 L de agua en el recipiente de mezclado. Añadir el polvo al agua, mientras se va batiendo la mezcla. Mezclar a conciencia durante al menos 3 minutos, hasta conseguir la consistencia requerida. Si considera necesario, en función del tipo de aplicación y método de mezclado, agregue agua a la mezcla sin exceder la relación máxima sugerida de 3.9 L por saco de 25 kg.

### Método de Aplicación

Sika Monotop® –412 SM se puede aplicar por métodos manuales tradicionales o mediante la utilización de equipos de proyección por vía húmeda. Cuando se necesite un puente de adherencia, asegurarse de que éste se encuentre todavía fresco cuando se aplique el mortero de reparación (técnica "fresco sobre fresco"). Cuando se aplique manualmente, presionar el mortero fuertemente contra el sustrato e ir rellenando en capas con ayuda de llana o cuchara.

El acabado, tanto cuando se utilicen medios manuales como mecánicos, se realizará con una llana antes de que el material haya empezado a endurecer.

### Tratamiento de Curado

Proteger el mortero recién aplicado de una deshidratación temprana, utilizando los métodos de curado adecuados, con especial cuidado en condiciones de insolación directa y fuertes vientos. Entre capas del producto, si es necesario, cure únicamente con agua.

### Limpieza de herramientas

Limpiar las herramientas y equipo de trabajo con agua inmediatamente después de su uso. El material endurecido, sólo puede eliminarse con medios mecánicos.

### Tiempo de vida de la mezcla (+20°C)

– 45 minutos

### Notas de Aplicación / Limitaciones

- × Cuando se aplique bajo incidencia directa del sol y/o vientos fuertes, extreme precauciones de curado y protección.
- × No añadir agua por encima de la dosificación recomendada.
- × Aplicar sólo sobre soportes sanos y preparados.
- × No añadir agua adicional durante el acabado superficial, puesto que esto puede causar decoloración y fisuración.
- × Proteger el material fresco recién aplicado de las heladas.

## Información de seguridad e higiene

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

## Información Adicional

Todos los datos técnicos aquí contenidos están basados en ensayos de laboratorio. El valor real puede variar debido a circunstancias fuera de nuestro control. Las Hojas Técnicas de Productos son actualizadas periódicamente. Para asegurar que tenga la versión más actual, visite la sección de hojas técnicas de productos en [www.sika.com.mx](http://www.sika.com.mx). La aplicación adecuada del material es responsabilidad de quien lo aplica. Las visitas en sitio de personal de Sika son únicamente para recomendaciones técnicas, y no para supervisión o control de calidad.



Protección del Concreto  
Sika FerroGard®-903

## Sika FerroGard®-903

Inhibidor de corrosión mediante impregnación para concreto armado existente.

### Descripción

Sika FerroGard®-903 es un recubrimiento inhibidor de la corrosión mediante impregnación para elementos existentes de concreto reforzado. Está diseñado para penetrar por difusión a través de los poros del concreto y migrar hasta las barras de acero de refuerzo. El producto, una vez que alcanza la superficie del acero, forma una capa protectora que inhibe la corrosión causada por la presencia de cloruros o por carbonatación del concreto.

Sika FerroGard®-903 es una combinación de amino alcoholes e inhibidores orgánicos e inorgánicos que protegen tanto la parte anódica como la catódica de la celda de corrosión. Este efecto dual retarda drásticamente el inicio de la corrosión y reduce de manera importante su actividad.

### Usos

Recomendado para todo acero de refuerzo: precolado, presforzado o postensado, especialmente para protección de estructuras expuestas a ambientes agresivos:

- Puentes y viaductos.
- Fachadas, terrazas y balcones.
- Estacionamientos.
- Muelles, pilas y estructuras de atraque.
- Tanques y estructuras de retención de agua potable y residual.
- Canales y tuberías.
- Silos, chimeneas y torres de enfriamiento.
- Estructuras de concreto armado en general en ambiente marino.

### Ventajas

Sika FerroGard®-903 ofrece a propietarios, especificadores e ingenieros una nueva tecnología en inhibición de corrosión que puede ser fácilmente aplicable a la superficie de concreto para extender la vida de servicio de cualquier tipo de estructura de concreto armado.

- Aumenta la durabilidad del concreto armado.
- Penetra inclusive en concretos de alta densidad.
- Evita retirar el concreto contaminado.
- Fácilmente aplicable mediante brocha o rodillo o equipo de aspersión.

- No contamina el medio ambiente.
- Base agua para sencilla aplicación y manejo.
- No forma barrera de vapor y por lo tanto, permite la libre difusión de vapor.
- No contiene nitrato de calcio.
- Incrementa la efectividad de la estrategia de reparación cuando se aplica antes de recubrimientos de protección.
- Su efectividad ha sido probada tanto en campo como en laboratorio (ASTM G109 / en trabes agrietadas).
- Aprobado para estar en contacto con agua potable (ANSI/MSF 61).

### Datos del Producto

#### Almacenamiento

18 meses si se almacena en un sitio fresco y bajo techo, a temperaturas comprendidas entre 4 y 35°C en su envase original y bien cerrado. Protéjase de la congelación, si esto ocurre, desechar el material.

#### Presentación

Cubeta con 18,9 litros

#### Consumo

En concreto normal, 5 m<sup>2</sup>/L por mano. Se recomienda aplicar al menos dos manos. En concreto denso el rendimiento puede ser mayor a 7 m<sup>2</sup>/L, por lo tanto, pueden requerirse más de dos manos para aplicar al consumo total recomendado de 2.5 m<sup>2</sup>/L.

### Datos Técnicos

#### Características del Producto (a 23°C)

Estado Físico:	Líquido
Color:	Amarillo pálido
Densidad:	1,13 kg/L
Viscosidad:	15 cps a 23°C
PH:	11 (± 1)
Temperatura de aplicación:	Min. 4°C, Max. 40°C (ambiental y del sustrato)
Punto de ignición:	Ninguno (producto base agua)



Pruebas de Desempeño		
Criterio	Nivel de Desempeño	Ensayo
Inhibición de corrosión	El Sika FerroGard®-903 retrasa el inicio de la corrosión y reduce su velocidad un 65% contra testigo después de un año.	1
Velocidad de penetración en concreto endurecido	Sika FerroGard®-903 penetra independientemente de la orientación en que se aplique (horizontal, vertical o sobre cabeza) a una velocidad de entre 2.5 a 20 mm por día, dependiendo de la densidad del concreto.	2
Profundidad de penetración	Sika FerroGard®-903 penetra hasta 76 mm a 28 días.	2
Capa de protección en el acero	Sika FerroGard®-903 forma una película de protección de alta estabilidad en el acero de refuerzo de hasta 100 de espesor.	3
Deslazamiento de cloruros de la superficie del acero	Sika FerroGard®-903 forma una película continua sobre el acero de refuerzo y desplaza a los iones cloruro de la superficie del acero.	3
Monitoreo en campo de la velocidad de corrosión	Reducción de la velocidad de corrosión hasta en un 65%.	4

1. Trabe de concreto agrietado (adaptación de ASTM G109)
2. Espectroscopia de masa de neutrones secundarios (SN MS) / Instituto de Radioquímica, Karlsruhe, Alemania, Dr. J. Goschnick.
3. Espectroscopia de fotones de rayos X (XPS) y de masa de iones secundarios (SIMS) / Brundie y Asociados, San José, California y Universidad de Heidelberg, Alemania, Prof. M. Grunze.
4. Pruebas de desempeño de inhibidores de corrosión, Graeme Jones, C-Probe Technologies Ltd., 2000.

### Aplicación

#### Preparación de Superficie

La superficie debe estar firme, limpia, libre de recubrimientos existentes, libre de polvo, aceite, grasa, eflorescencias, y demás contaminantes que interfieran con la penetración del producto. Remover mediante vapor, agua a alta presión o chorro de arena ligero. Permita que la superficie seque antes de la aplicación del Sika FerroGard®-903. La aplicación sobre la superficie seca mejora la penetración y efectividad del producto.

#### Instrucciones de Aplicación

Sika Sika FerroGard®-903 se aplica con rodillo, brocha o equipo de aspersión sobre la superficie del concreto. Cuando se aplica por aspersión, utilizar equipo airless o equipo de aplicación manual de baja presión. Siempre se recomienda aplicar a un rendimiento de 2.5 m<sup>2</sup>/L por

lo que en sustratos densos se pueden requerir mas de dos manos. Esperar un mínimo de 1 hora entre manos. Debe permitirse cuando menos un día para que Sika FerroGard®-903 seque y penetre.

Quando el Sika FerroGard®-903 se usa antes de la aplicación de un mortero de reparación, una sobre losa de concreto o cualquier otro recubrimiento protector, se debe tener el cuidado de remover el producto remanente en su totalidad. Esta limpieza del sustrato puede hacerse mediante lavado con agua a presión, dirigiendo el escurrimiento de agua en una dirección diferente al área en que se pretende colocar el recubrimiento.

En superficies horizontales se requerirá de lavado con agua a presión (2,000 psi como mínimo) para remover los residuos que pueda dejar el producto. Las superficies verticales pueden enjuagarse o lavarse también con agua



Protección del Concreto  
Sika FerroGard®-903

a presión. Se sugiere la aplicación del **SikaTop®-Amatec 110 EpoCem** como puente de adherencia para la colocación de morteros de reparación o sobrecapas de concreto. Los tiempos de secado dependen de las condiciones ambientales, de la porosidad del sustrato y del contenido de humedad máximo recomendado para los sistemas de aplicación subsecuente.

#### **Limpieza y Manejo de Residuos**

En caso de derrames o escurrimientos, vestir ropa de seguridad adecuada, confinar el derrame, y coleccionar el producto con un material absorbente y tirarlo en un contenedor adecuado. Eliminar el producto de acuerdo al reglamento local vigente.

#### **Medidas de Seguridad**

Irritante de ojos y piel. Los vapores pueden provocar irritación de las vías respiratorias. Úsese solo con ventilación adecuada. Se recomienda usar lentes de seguridad y guantes resistentes a químicos. En caso de contacto con la piel, lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón, quitar rápidamente la ropa empapada o manchada y desecharla. En caso de contacto con los ojos, lavar en seguida con agua abundante durante 15 minutos y acudir cuanto antes al médico. En caso de ingestión, no provocar el vómito y acudir al médico.

