

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO EN VIVIENDAS DE ZONAS  
COSTERAS POR ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LA  
CONURBACIÓN BARCELONA, LECHERIA, PUERTO LA CRUZ Y  
GUANTA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI”**

Realizado por:  
**SARA P. ESCALANTE D.**

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial  
para optar al Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Barcelona, Enero de 2010.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO EN VIVIENDAS DE ZONAS  
COSTERAS POR ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LA  
CONURBACIÓN BARCELONA, LECHERIA, PUERTO LA CRUZ Y  
GUANTA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI”**

**ASESOR**

---

**Prof. Blas Pinto**  
Asesor Académico

Barcelona, Enero de 2010.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO EN VIVIENDAS DE ZONAS  
COSTERAS POR ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LA  
CONURBACIÓN BARCELONA, LECHERIA, PUERTO LA CRUZ Y  
GUANTA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI”**

**JURADO**

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

---

**Prof. Blas Pinto**  
Asesor Académico

---

**Prof. Gerónimo Velásquez**  
Jurado Principal

---

**Prof. José Sosa**  
Jurado Principal

Barcelona, Enero de 2010.

## RESOLUCIÓN

*De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:*

*“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario”.*

## **DEDICATORIA**

- Primeramente a Dios todopoderoso, por darme la oportunidad de vivir y estar a mi lado en todo momento, dándome las fuerzas para luchar día a día y seguir adelante sobrepasando las barreras que se me presentan.
- A mis padres, Jorge Escalante y Natividad Díaz, por ser los guías en mi formación tanto personal como profesional, por cuidar de mi, por horas de consejos y regaños los cuales estoy segura han sido con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de los que me siento muy orgullosa, por nunca permitir que decayera ante situaciones adversas, sin su apoyo y entrega hubiese sido muy difícil y aunque poco se los diga los amo mucho.
- A mis hermanos, Celeste y Edgar para que vean en mí un ejemplo de superación, sólo hay que proponérselo para alcanzarlo. Nunca es tarde los quiero mucho.
- A mis sobrinos, Jorge, Valentina, Armando, Héctor y Edgar, este logro va dedicado especialmente a ustedes, el futuro de la familia. Deseo con todo mi corazón que sigan por el camino del bien y logren alcanzar lo que se propongan, para eso tienen una tía que los quiere mucho y va a estar siempre para ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios y a la Virgen por ser mi guía espiritual en el cumplimiento de esta meta.
- A mi Padre, Jorge Escalante, porque nunca existió un no se puede, con tu apoyo incondicional me ayudaste a alcanzar tan preciada meta, este logro también es tuyo, te amo eres el mejor.
- A mi novio, José Noguera, por su amor, apoyo y comprensión durante todos estos años, por estar a mi lado en las buenas y no tan buenas, por ser especial y único, te amo. 4ever
- A mi hermana, Nathaly Escalante, por ser mi guía en la redacción de este trabajo de investigación, sé que lo hiciste con todo el gusto del mundo porque querías esto tanto como yo, te quiero mucho.
- A mi tutor Prof. Blas Pinto, por ser mi guía académico y por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo.
- A mi familia, Escalante Díaz, por siempre estar pendiente de los avances de este proyecto.
- A mi profesor personal de Autocad, David Martínez, por tu valiosa ayuda y por soportar mis insistencias, muchas gracias cuentas con mi apoyo incondicional.



- A la sabelotodo de Office, Gabriela Benavides, por estar en el momento justo y nunca decir no, estoy muy agradecida contigo, tu colaboración fue de gran importancia, siempre estaré para lo que necesites.
- A todas aquellas personas que aportaron su granito de arena para la realización de este proyecto: Luis González, Jesús Jiménez, César Granado, Douglas Estaba, Lanny Vahlis, María Febres, Raúl Herrera, Virginia Lárez, Johanny Serrano, Elsa Silva, Gabriel Roa, Alexander Rojas, Cruz Quijada, Newman Lozada, muchísimas gracias.
- A las Familias, Sarrameda, González y Martínez por permitirme utilizar sus viviendas para desarrollar este proyecto.
- Al Señor Ángel Jiménez y al Ing. Jesús Acosta, por abrirme las puertas de su empresa y concederme la oportunidad de culminar este proyecto formando parte de ella.
- A la Universidad de Oriente por permitir que me formara profesionalmente bajo su seno.
- A mis amigos de “la clase”, que estuvieron conmigo durante toda la carrera y con los que compartí tantas aventuras, experiencias, desveladas y triunfos, gracias por hacer inolvidable mi paso por la Universidad, los quiero mucho.

## **RESUMEN**

Con el fin de prolongar la vida útil de las estructuras observadas es necesario un mantenimiento periódico. El presente trabajo basa su investigación en la evaluación patológica de viviendas ubicadas en la Conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta, Estado Anzoátegui. Dicho diagnóstico comprende la inspección, descripción de los daños y la aplicación de ensayos en cada estructura en estudio. Las inspecciones se realizaron a través de visitas técnicas a viviendas ubicadas en la Conurbación escogida, registrando fotográficamente los daños observados. Se realizaron ensayos de Carbonatación, monitoreo de corrosión, monitoreo de agrietamientos y ensayo a tracción al acero de refuerzo. En esta Conurbación se encontraron viviendas que presentaban enfermedades y diversos daños que a mediano plazo no afectarían su vida útil, a excepción de la vivienda ubicada en Lechería que presenta un alto deterioro de los elementos que la conforman, entre ellos: columnas, vigas, losas. Al finalizar el trabajo de campo se propusieron las técnicas de reparación más idóneas para cada uno de los síntomas analizados dentro de las que se destacan la técnica de reparación por parcheo. Una vez restauradas las viviendas se recomienda la técnica de inhibidores de corrosión como protección catódica por corriente impresa y protección catódica por ánodos de sacrificio. El método o técnica a emplear depende de la gravedad del problema y de las condiciones internas o externas a las que este expuesta la vivienda. La selección del método de restauración o rehabilitación también dependerá de los recursos económicos, humanos y tecnológicos del que se disponga.



# CONTENIDO

	Pág.
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>IX</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
1.3.1 Objetivo General .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>19</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	19
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	20
2.2.1 Patología Estructural .....	20
2.2.1.1 Antecedentes de la Patología Estructural.....	20
2.2.1.2 Importancia de la Patología Estructural .....	21
2.2.2 Concreto Armado.....	22
2.2.2.1 Fabricación y Constitución del Concreto Armado.....	23
2.2.2.2 Patología del Concreto Armado.....	28
2.2.2.2.1 Compacidad.....	29
2.2.2.2.1.1 Áridos.....	29
2.2.2.2.1.2 Cemento .....	29



2.2.2.2.1.3 Agua .....	30
2.2.2.2.1.4 Aditivos .....	30
2.2.2.2.1.5 Aire.....	30
2.2.2.2.2 Corrosión del Concreto .....	31
2.2.2.2.2.1 Proceso Corrosivo del Concreto .....	31
2.2.2.2.3 Corrosión de las Armaduras.....	35
2.2.2.2.3.1 Corrosión Química.....	35
2.2.2.2.3.2 Corrosión Electroquímica .....	36
2.2.2.3 Durabilidad del Concreto Armado .....	39
2.2.3 El Ambiente Marino .....	43
2.2.3.1 Tipología Estructural.....	45
2.2.3.1.1 Zona de Inmersión.....	45
2.2.3.1.2 Zona de Marea.....	46
2.2.3.1.3 Zona de Salpicaduras .....	46
2.2.3.1.4 Zona de Ambiente Marino .....	47
2.2.3.2 Refuerzos de Estructuras Dañadas por el Ambiente Marino .....	48
2.2.3.2.1 Daños Ocasionados en Estructuras Sometidas a la Acción de Atmósfera Marina.....	49
2.2.3.2.2 Reparación de los Elementos Dañados por Corrosión Marina .....	51
2.2.3.2.2.1 Eliminación del Concreto Dañado:.....	51
2.2.3.2.2.2 Sellado de Fisuras .....	52
2.2.3.2.2.3 Restauración de la Capacidad Resistente Inicial de las Armaduras.....	52
2.2.3.2.2.4 Colocación del Nuevo Concreto .....	53
2.2.3.2.2.5 Aplicación del Tratamiento Superficial .....	55
2.2.4 Aplicación de la Adecuación Estructural de Edificaciones .....	55
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>58</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>61</b>



<b>EVALUACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES.....</b>	<b>61</b>
4.1 VIVIENDA EN LECHERÍA .....	61
4.1.1 Descripción de la Estructura. ....	62
4.1.1.1 Ubicación .....	62
4.1.1.2 Descripción de los Elementos Estructurales .....	63
4.1.2 Revisión del Proyecto Original .....	63
4.1.2.1 Planos .....	63
4.1.3 Descripción de los Daños en los Elementos .....	63
4.1.3.1 Daños en Columnas .....	63
4.1.3.2 Daños en Vigas .....	65
4.1.3.3 Daños en losas de Fundación y Techo .....	67
4.1.4 Cuadros Clínicos de los Daños en los Elementos Estructurales. ....	74
4.1.4.1 Clasificación de los Daños en Columnas .....	74
4.1.4.2 Clasificación de los Daños en Vigas.....	86
4.1.4.3 Clasificación de los Daños en Losas.....	95
4.1.5 Comparación de los Anchos de Fisuras con el Recomendado por la Norma ACI. .....	97
4.1.6 Distribución Porcentual de los Daños Presentes en los Elementos Estructurales. .....	98
4.1.6.1 Columnas .....	98
4.1.6.2 Vigas .....	99
4.1.6.3 Losas .....	99
4.2 VIVIENDA EN PUERTO LA CRUZ .....	100
4.2.1 Descripción de la Estructura .....	101
4.2.1.1 Ubicación .....	101
4.2.1.2 Descripción de los Elementos Estructurales .....	101
4.2.2 Revisión del Proyecto Original .....	102
4.2.2.1 Planos .....	102
4.2.3 Descripción de los Daños en los Elementos .....	102



4.2.3.1 Daños en Columnas .....	102
4.2.3.2 Daños en Vigas. ....	103
4.2.3.3 Daños en la Losa. ....	104
4.2.4 Cuadros Clínicos de los Daños en los Elementos Estructurales. ....	105
4.2.4.1 Clasificación de los Daños en Columnas.....	105
4.2.4.2 Clasificación de los Daños en Vigas.....	111
4.2.4.3 Clasificación de los Daños en Losas.....	116
4.2.5 Comparación de los anchos de fisuras con el recomendado por la Norma ACI. .....	118
4.2.6 Distribución Porcentual de los Daños Presentes en los Elementos Estructurales. .....	119
4.2.6.1 Columnas .....	119
4.2.6.2 Vigas .....	120
4.2.6.3 Losas .....	120
4.3 VIVIENDA UBICADA EN GUANTA i.....	121
4.3.1 Descripción de la Estructura .....	122
4.3.1.1 Ubicación .....	122
4.3.1.2 Descripción de los Elementos Estructurales .....	122
4.3.2 Revisión del Proyecto Original .....	123
4.3.2.1 Planos .....	123
4.3.3 Descripción de los Daños de los Elementos .....	123
4.3.3.1 Daños en Columnas .....	123
4.3.3.2 Daños en Vigas. ....	125
4.3.3.3 Daños en Losas .....	126
4.3.4. Cuadros Clínicos de los Daños en los Elementos Estructurales.....	128
4.3.4.1 Clasificación de los Daños en Columnas.....	128
4.3.4.2 Clasificación de los Daños en Vigas.....	137
4.2.4.3 Clasificación de los Daños en Losas.....	147



4.3.5 Comparación de los Anchos de Fisuras con el Recomendado por la Norma ACI. .....	149
4.3.6 Distribución Porcentual de los Daños Presentes en los Elementos Estructurales. .....	150
4.3.6.1 Columnas (Planta Baja) .....	150
4.3.6.2 Vigas (Planta Baja) .....	151
4.3.6.3 Losas (Entrepiso) .....	151
4.3.6.4 Columnas (Nivel 1).....	152
4.3.6.5 Vigas (Nivel 1).....	153
4.3.6.6 Losas (Techo).....	154
4.3.6.7 Columnas (Muro).....	155
4.3.6.8 Vigas (Muro).....	155
4.4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE .....	156
4.5 COMPARACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON CONCRETO ARMADO EN ZONA COSTERA Y ZONA NO COSTERA .....	159
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>167</b>
<b>DIAGNÓSTICO DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES .....</b>	<b>167</b>
5.1 ESTADO DE DAÑOS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	167
5.1.1 Vivienda en Lechería .....	167
5.1.2 Vivienda en Puerto La Cruz .....	169
5.1.3 Vivienda en Guanta .....	169
5.2 PRESENCIA DE CARBONATACIÓN Y CLORUROS.....	171
5.2.1 Vivienda en Lechería .....	171
5.2.2 Vivienda en Puerto La Cruz .....	173
5.2.3 Vivienda en Guanta .....	175
5.3 DIAGRAMA DE CARGA ALARGAMIENTO DE UNA BARRA CORROÍDA .....	177
5.3.1 Ensayo a Tracción del Acero .....	178
5.3.2 Tabla de Resultado .....	181



5.3.3 Diagrama de Carga Alargamiento de una Barra Sana.....	182
5.3.4 Diagrama de Carga Alargamiento de una Barra Corroída. ....	183
5.3.5 Comparación de los resultados con valores de la Norma COVENIN 316-2000 .....	184
5.4 DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS.....	185
5.4.1 Vivienda Ubicada en Lechería .....	185
5.4.2 Vivienda Ubicada en Puerto la Cruz .....	187
5.4.3 Vivienda Ubicada en Guanta .....	187
5.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL BAJO CARGAS VERTICALES Y ACCIÓN SÍSMICA .....	188
5.5.1 Modelos para el Análisis .....	188
5.5.2 Valores de Salida .....	190
5.5.3 Análisis de los Valores de Salida .....	196
5.5.3.1 Áreas de Acero.....	196
5.5.3.2 Desplazamientos .....	197
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>198</b>
<b>PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ESTRUCTURAL .....</b>	<b>198</b>
6.1 PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ESTRUCTURAL Y PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL.....	198
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>207</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>207</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	207
7.2 RECOMENDACIONES.....	208
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>210</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>MUESTRAS DE CÁLCULOS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....</b>	<b>216</b>

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Las estructuras ubicadas en ambiente marino requieren ser diseñadas cuidadosamente, antes se consideraba que el concreto armado con una buena resistencia mecánica tendría una duración prácticamente ilimitada, pero esto ha ido cambiando en las últimas décadas debido a la cantidad de inversiones que se realizan a nivel mundial para llevar a cabo reparaciones y protecciones de estructuras de concreto armado y que en ocasiones ante un alto grado de degradación no ha habido otra solución más que sustituir las viejas por unas nuevas. La inspección, mantenimiento periódico de una vivienda debe desarrollarse para garantizar sus óptimas condiciones y más aun en ambiente agresivo.

Ante una falla patológica las estructuras reaccionan de diversas maneras, por esta razón hay que evaluar cada una de las características que presentan, tales como: grietas, manchas, desprendimiento de materiales, entre otros factores y además realizar ensayos específicos que permitan ver con claridad el problema, y así obtener mejores resultados. Por lo tanto se realizará una evaluación de viviendas encontradas en ambiente marino con la finalidad de detectar sus deficiencias estructurales y se dará soluciones de restauración según sea el caso, para de esta manera devolverle su funcionalidad y característica resistente, alargando su vida útil.

El objetivo perseguido con la realización de este trabajo de investigación es presentar en forma sencilla y clara un estudio y análisis de los daños que presentan viviendas ubicadas en la Conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta para determinar el tipo de patología presente y la manera de restaurarlas



## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de refugiarse para mejorar las condiciones adversas de vivir a la intemperie (clima, seguridad...). En tiempos antiguos, solía protegerse de las fieras del campo escondiéndose en cuevas, con el fin de obtener la seguridad necesaria para sobrevivir.

La vivienda, más que un refugio, es una estructura viva que se mueve, transforma y envejece a través del tiempo, que está sometida a múltiples y variadas influencias externas físicas y climáticas (altos valores de humedad, temperaturas, etc.)

Si bien existen normas para realizar su diseño y acondicionamiento, basado en el comportamiento o propiedades de los materiales, en cálculos y formas matemáticas de analizar su funcionamiento, es durante la construcción donde se pone en tela de juicio y a prueba todos estos aspectos, y es allí, donde surgen los problemas de calidad del hábitat, agravados por las bajas condiciones de habitabilidad. Un conocimiento limitado de estos aspectos o las deficiencias que surgen en la obra misma, lleva consigo consecuencias importantes traducidas en diferentes Patologías estructurales, con el consecuente costo económico que recae normalmente en el usuario de dicho espacio.

La patología estructural, es el estudio del comportamiento de las estructuras cuando presentan evidencias de fallas o comportamiento defectuoso (enfermedad), investigando sus causas (diagnóstico) y planteando medidas correctivas (terapéutica) para recuperar las condiciones de seguridad en el funcionamiento de la estructura.





Existe un gran interés por la calidad de las construcciones ya que está ligada en forma inversa con la patología estructural, y aunque en materia de calidad se ha avanzado mucho al pasar de los años, no ha ocurrido en la misma proporción en los casos patológicos, pero los avances han sido notables.

En las estructuras de concreto armado, una de las patologías más severas y que ponen en riesgo la seguridad estructural, es la corrosión en el acero de refuerzo. La resistencia de la estructura de concreto armado dependerá, tanto de la resistencia del concreto, como de la resistencia de la armadura. Cualquiera de las dos que se deteriore, comprometerá la estructura como un todo. Por lo general un ambiente marino, produce debilitamiento en el elemento estructural, causando desintegración de la mezcla y corrosión en el refuerzo metálico, ya que el agua de mar posee una alta incidencia de los iones cloruros y sulfatos (se pueden encontrar de diferentes maneras, ya sean absorbidos o disueltos en la mezcla), que penetran al concreto y producen la corrosión del acero de refuerzo.

Anzoátegui es un Estado costero ubicado al noreste de Venezuela. Por esta razón las viviendas ubicadas en la conurbación de Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta, presentan enfermedades en las fundaciones, losas, vigas, columnas y tirantes tales como: corrosión en las armaduras, carbonatación, entre otros, debido a la acción de la atmósfera marina.

Con este trabajo de investigación se pretende evaluar la durabilidad del concreto debido a los daños estructurales en las viviendas en la zona costera de la conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta, por acción del ambiente marino, con el fin de determinar las causas y efectos que influyen en su durabilidad, proponiendo soluciones de restauración estructural, desarrollando un proceso constructivo de adecuación y rediseño para las viviendas en estudio.



## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la durabilidad del Concreto Armado debido a los Daños Estructurales en las Viviendas en Zonas Costeras por acción del medio ambiente en la Conurbación de Barcelona, Lechería, Puerto La Cruz y Guanta del Estado Anzoátegui.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Estudiar las causas que originan los daños estructurales en las viviendas.
2. Evaluar los efectos que influyen en la durabilidad del concreto armado de las estructuras en estudio.
3. Comparar la durabilidad del concreto armado con las características del ambiente agresivo y un ambiente en zona no costera.
4. Evaluar el Diagrama de Carga – Alargamiento para una barra corroída.
5. Proponer una solución de restauración estructural y predicción de vida útil de los elementos dañados por corrosión en las estructuras bajo el ambiente de estudio de acuerdo COVENIN 1756 Revisión 2001.
6. Desarrollar un proceso constructivo de adecuación estructural y rediseño de elementos dañados por el ambiente usando el Método de Carga Última por la Norma ACI 318 – 2005 (para vigas, losas y columnas) y la Norma COVENIN 1753 – 2006 en las infraestructuras (fundaciones).

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES**

En el año 2006 Astudillo Fanny [1], realizó una evaluación patológica de los puentes y alcantarillas ubicados en la troncal 009, tramo Boca de Uchire – Clarines del Estado Anzoátegui. La evaluación se basó en la inspección, inventario, descripción de los daños y aplicación de ensayos diversos en cada estructura encontrada, percibiendo que las estructuras presentaban enfermedades y daños diversos y proponiendo técnicas de reparación adecuada para cada uno de los síntomas analizados.

En el año 2005 Ospina Julio [2], realizó una evaluación de los daños que presentaba el Muelle N° 5 del Puerto de Guanta. Dicha evaluación se realizó tomando en cuenta los diferentes aspectos que causan corrosión en el acero de refuerzo del concreto armado en estructuras ubicadas en el ambiente marino, proponiendo técnicas de reparación y mantenimiento.

En el año 2002 Álvarez Anna y Veltri Ivana [3], efectuaron un estudio y análisis del origen de los daños ocasionados en una estructura de concreto armado ubicada en la Ciudad de Cumaná de nombre Apartamentos Marina Mar la cual estuvo sometida a la acción de un sismo de magnitud 6,8 y 10 en la escala de Richter en el año 1997 y presentaba fisuras y desprendimiento de material en sus elementos estructurales. Dicha investigación se realizó con la finalidad de detectar si el detrimento pudo cometerse en las fases del proyecto constructivo y recomendando método correctivos para prolongar la vida útil de servicio de la edificación.



## **2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1 Patología Estructural**

Es el estudio de las deficiencias fallas en las estructuras, las cuales son ocasionadas generalmente por errores al seleccionar los materiales, en la concepción de la obra o durante su construcción.

Todas las lesiones o enfermedades que puedan ser detectadas en las estructuras son fenómenos tan antiguos como los propios edificios de los que forman parte. [4]

#### **2.2.1.1 Antecedentes de la Patología Estructural**

Todas las lesiones y enfermedades que pueden ser detectadas en las estructuras son fenómenos tan antiguos como los propios edificios de los que forman parte. Es relevante especificar que el primer tratado que se dicto sobre patología en la construcción fue realizado en Mesopotamia, hace 4mil años , identificado como código de Hammurabi, el cual señalaba cinco reglas para prevenir defectos en los edificios, estas por lo drástico de su contenido quizás tuvieron en aquella época una gran repercusión en la calidad de la construcción. Las reglas son:

1. Si un constructor hace una casa para un hombre y no la hace firme y su colapso causa la muerte del dueño de la casa, el constructor deberá morir.
2. Si causa la muerte del hijo del dueño de la casa, el hijo del constructor deberá morir.



3. Si causa la muerte de un esclavo del propietario de la casa, el constructor deberá dar al dueño un propietario del mismo valor.
4. Si la propiedad fuese destruida, el deberá restaurar lo que fue destruido, por su propia cuenta.
5. Si un constructor hace una casa para un hombre y no la hace de acuerdo con las especificaciones y una pared se cae, el constructor reconstruirá la pared por su cuenta.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el presidente del Instituto Británico de Ingeniería: Robert Stevenson, recomendó en el año 1856 que: “los accidentes que habían tenido lugar durante los últimos años debían ser recopilados, analizados y divulgados, puesto nada sería tan útil e instructivo, para los profesionales, como el conocimientos de los mismos y los medios empleados en su reparación. La divulgación precisa de tales accidentes, los medios empleados para subsanar sus consecuencias, serian en realidad más valiosos que los millares de relatos autos elogiosos de los trabajos bien realizados que los constructores y órganos empresariales presentan al público y a sus accionistas. [3]

### **2.2.1.2 Importancia de la Patología Estructural**

La patología de la construcción está íntimamente ligada y de forma inversa a la calidad y si bien en esta última se ha avanzado mucho y se continúa progresando cada vez más no por esto los casos patológicos han disminuido en la misma proporción, aunque el descenso ha sido muy notable.

Es realmente difícil conocer la situación actual del problema patológico estructural debido a que, así como los éxitos siempre se lanzan a los cuatro vientos,



los fracasos se arropan, se guardan y se procura evitar su trascendencia. Ocurre con frecuencia que a muchos de los defectos o lesiones que presentan las estructuras se les da poca importancia y, por lo tanto, no llegan a formar parte de las estadísticas debido a que el propio constructor los corrige, los cubre o los encubre.

Indiscutiblemente, la fortaleza y durabilidad de una estructura, al igual que la de un ser vivo va a depender de los cuidados que se hayan tenido con ella no solo durante su gestión o proyecto, sino también, durante su crecimiento o construcción y posteriormente durante el resto de su vida o mantenimiento. La obra al igual que el ser vivo, se encuentra sometida a la acción del calor, la humedad, de los vientos, etc. Pero también tiene que soportar unas acciones de tipo mecánico que pueden fatigarla e incluso lastimarla. Por consiguiente, los cuidados y la vigilancia, si bien son importantísimos durante su crecimiento y construcción y de ellos dependerá mucho la vida de la obra, no hay que pensar que terminan con la realización de la misma, sino que después hay que seguir prodigándolos. [3]

### **2.2.2 Concreto Armado**

A la rápida difusión del uso del concreto armado ha contribuido en gran medida el complemento de propiedades de dos materiales: acero y concreto que reunidos en un material mixto, le dotan de la destacada resistencia a la tracción del primero y la buena resistencia a la compresión del segundo.

El concreto, es una mezcla de dos componentes: pasta y agregados. La pasta de concreto se compone de cemento, agua, aditivos y aire atrapado y/o incluido. Los agregados son conocidos como finos (arena) y gruesos (grava).

El acero de refuerzo, es una aleación fierro/carbono, que generalmente tiene un acabado superficial en relieve llamado corrugado.



El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. [15]

### **2.2.2.1 Fabricación y Constitución del Concreto Armado**

Los principales materiales que conforman el concreto armado son el acero y la mezcla cementante que es quien le da forma a los elementos que conformaran una estructura. La mezcla cementante se encuentra conformada por cemento, arena y rocas en determinadas proporciones dependiendo de varios factores, tales como la resistencia, fluidez, etc.

Los materiales naturales que participan en el proceso de fabricación del cemento son la caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso. Las rocas calizas son ricas en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) el cual aporta el oxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) cuando se descompone mediante el calor. La arcilla aporta principalmente el oxido de aluminio o alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). La arena y el mineral de hierro son usados en caso de que la caliza, arcilla o esquistos no contengan los compuestos químicos requeridos. La arena aporta principalmente sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y el mineral de hierro, oxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Los esquistos aportan alúmina, sílice y carbonato de calcio en proporciones que varían marcadamente. El yeso contiene sulfato de calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) se usa al final del proceso de fabricación cuando se muele el Clinker (mezcla final después de ser cocida). Se agrega en cantidades pequeñas (4% a 5%) actuando como regulador de fraguado. [10]

La dosificación aproximada es la siguiente:

**Tabla 2.1** Dosificación de la mezcla sin calcinar. [10]

Mezcla sin calcinar	
Caliza	56 a 73%
Arcilla	20 al 25%
Arena	6 al 15%
Hierro	1 al 4%

**Tabla 2.2** Contenido de Clinker y yeso en el cemento. [10]

Cemento	
Clinker	9 al 96%
Yeso	4 al 5%

Los elementos químicos aportados por la arena, arcilla y mineral de hierro se combinan con la cal resultante de la aluminación de la caliza para dar origen a los compuestos finales del cemento los cuales son:

**Tabla 2.3** Compuestos del Cemento [10]

Compuesto	Formula	Abreviatura
Silicato Dicálcico	$2Ca \cdot SiO_2$	C <sub>2</sub> S
Silicato Tricálcico	$3Ca \cdot SiO_2$	C <sub>3</sub> S
Aluminato Tricálcico	$3Ca \cdot Al_2O_3$	C <sub>3</sub> A
Ferrito Aluminato	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C <sub>4</sub> AF





En el mercado venezolano existen diferentes tipos de cemento entre los cuales el más conocido y utilizado en la construcción es el tipo Pórtland cuyas características son las siguientes:

- Usa como materias primas ciertos materiales con contenido químico rico en oxido de calcio, de silicio, de aluminio y de hierro.
- Mediante la molienda del Clinker y la conveniente adición de pequeñas cantidades de yeso se produce finalmente el material llamado cemento.

Cada tipo de cemento posee una composición química determinada y en eso radican sus características y sus usos apropiados. En Venezuela los tipos de cementos comercializados son: el Tipo I, Tipo II y Tipo III, aunque también están el Tipo IV y Tipo V (tabla 2.4). [10]

**Tabla 2.4** Tipos de Cemento Portland. [15]

<b>Cemento</b>	<b>Uso</b>
<b>Tipo I</b>	Cemento de uso general.
<b>Tipo II</b>	Genera menor calor de hidratación que el tipo I y es más resistente al ataque por sulfatos. Se utiliza en grandes estructuras en las que el calor de hidratación puede provocar agrietamientos.
<b>Tipo III</b>	Cemento de alta resistencia a temprana edad y rápido fraguado. Es usado cuando se requiere alcanzar una elevada resistencia en pocos días.
<b>Tipo IV</b>	Presenta un calor de hidratación más bajo que el tipo III, se utiliza en construcciones de concreto masivo.



<b>Tipo V</b>	Cemento de alta resistencia a la acción de los sulfatos, se utiliza en estructuras que están en contacto con suelos de aguas freáticas de alto contenido de sulfatos y en hormigones con aguas negras domésticas concentradas.
---------------	--

**Tabla 2.5** Óxidos Químicos del Cemento Portland. [18]

Componente	Formula Química	Formula abreviada	Límites de la Composición Usual Promedio, %
Sílice	SiO <sub>2</sub>	S	19 – 25
Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	3,5 – 8
Oxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	2,5 – 4,5
Cal	CaO	C	62 – 65
Sulfatos (Yeso)	SO <sub>3</sub>	Y	1,5 – 4,5
Magnesia	MgO	M	0,5 - 5
Álcalis	Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	N, K	0,2 – 1,2

El acero es un material estructural por excelencia, que sobre los materiales tradicionales (concreto, madera, aluminio, etc.), aventaja por su gran resistencia, ductilidad, durabilidad, versatilidad para la combinación de secciones con forma variadas, disponibilidad, peso reducido en comparación con el concreto armado y rapidez de ejecución, entre otras características.

En cuanto al acero de refuerzo este se combina con el concreto para que este resista los esfuerzos de tensión. El acero de refuerzo, es una aleación hierro/ carbono, que generalmente tiene un acabado superficial en relieve llamado corrugado. El más



común de los refuerzos es la barra estriada, ya que produce mejor adherencia con el concreto debido a la rugosidad saliente de superficie; también hay barras de superficie lisa y el alambρόn, a partir de la cual se obtiene la malla electro soldada.

Según la Norma Covenin 2000-92, el acero o armadura de refuerzo "... es el conjunto de barras, alambres y otros elementos delgados de acero que se colocan dentro del concreto para resistir tensiones junto con este."

Ciertamente, la mayoría de los refuerzos son en forma de varillas o de alambres, de superficie lisa o corrugada; de sección cuadrada y redonda.

En Venezuela, el más general de los refuerzos, es el que elabora con barras de acero estriadas, conocidas como cabillas (Figura N° 2.1). Las barras de superficie lisa se emplean más que todo para carpintería metálica, como cerramientos de balcones, rejas, ventanales, etc. [2]



**Fig. 2.1** Cabilla Estriada [12]



Clasificación según su resistencia:

A 42. Tensión de excedencia mínima de 4200 Kg-f/cm<sup>2</sup> y resistencia a la tracción de 6300 Kg-f/cm<sup>2</sup>. (Grado N-60)

A 28. Tensión de excedencia mínima de 2800 Kg-f/cm<sup>2</sup> y resistencia a la tracción de 4200 Kg-f/cm<sup>2</sup> (Grado N-40)

En Venezuela entre las casas fabricantes están: SIDOR, SIDETUR, MAPLOCA, CABIPERCA, entre otras. [2]

#### **2.2.2.2 Patología del Concreto Armado**

El concreto armado es un material formado por cemento, áridos y agua, y en el que algunas veces, entra un cuarto componente, los aditivos; no es de extrañar, por tanto, que los defectos que cada uno de estos materiales posean influyan desfavorablemente sobre las características más importantes del concreto: resistencias mecánicas, estabilidad, durabilidad. Estas tres características van a estar muy relacionadas con una serie de factores entre los que cabe destacar la homogeneidad y la compacidad. Un concreto es homogéneo cuando su composición en cualquier parte del mismo sea comparable a la de otra parte diferente. Muchas son las causas que dan lugar a la heterogeneidad y a falta de compacidad en el concreto, entre ellas: segregación o separación de los materiales más gruesos hacia las capas inferiores y la exudación y elevación de la pasta hacia la superficie, además de ciertas operaciones que se realizan con el concreto fresco, tales como: el transporte, vertido, compactado, armado, encofrado, etc. [3]



### **2.2.2.2.1 Compacidad**

La compacidad de un concreto depende fundamentalmente de la relación árido/cemento, de la dosificación de cemento y de la relación agua/cemento o su inversa la concentración.

Los tres componentes que juegan en estas relaciones son los áridos, el cemento y el agua, existiendo otro, subordinado a ellos, que va a ser el aire y cuya presencia va a dar lugar a huecos en el concreto. [4]

#### **2.2.2.2.1.1 Áridos**

Los áridos entran en el concreto en una proporción que oscila entre el 70 y 8 % del volumen del mismo, esto permite deducir que su influencia tenga un peso específico sobre las propiedades del concreto, se debe tomar en cuenta la granulometría, la cantidad de finos y de gruesos, y sobre todos la calidad de estos.[3]

#### **2.2.2.2.1.2 Cemento**

El cemento puede repercutir en la homogeneidad y compacidad del hormigón. Una de las causa de efectos patológicos debidos al cemento empleado en concreto armado son las adiciones inertes o no activas que pueda llevar este. La dosificación del cemento puede crear también problemas en el concreto, altas dosificaciones trae como consecuencia fuerte calor de hidratación, que se traducirán en fuertes retracciones de origen térmico y en peligro de fisuración. Dosificaciones elevadas aumenta el riesgo de retracción hidráulica que finalizará también en fisuración. [3]



#### **2.2.2.2.1.3 Agua**

Las aguas de amasado tienen una importancia trascendental, en cuanto a su calidad relacionada a la del cemento empleado. Para la hidratación de los componentes activos del cemento bastaría con una relación agua/cemento teórica aproximada de 0.18. Por lo tanto, todo exceso sobre esta cantidad repercute en la compacidad del concreto. A mayor cantidad de agua, mayor porosidad, menores resistencias mecánicas, mayor retracción y mayor riesgo de taque al concreto.[3]

#### **2.2.2.2.1.4 Aditivos**

Los aditivos pueden dar lugar, también a patología en el concreto. Para que los aditivos sean eficaces y no contraproducentes, se requiere emplearlos en determinadas dosis; si estas son excesivas, estos pierden su valor terapéutico y pueden dar lugar a serias complicaciones.

Si por el contrario las dosis son escasas, puede que no se consiga el efecto deseado.  
[3]

#### **2.2.2.2.1.5 Aire**

El aire se encuentra en el concreto estructural en una proporción que oscila entre el 2% y el 5%. La oclusión de aire en el concreto puede ser indeseable, otras, por el contrario, se realiza una inclusión perfectamente deseada y controlada, en los dos casos, el aire siempre produce disminución en las resistencias mecánicas del concreto.[3]



#### **2.2.2.2.2 Corrosión del Concreto**

Las estructuras de concreto armado no deben ser consideradas obras perennes, por esta razón deben ser objeto de inspecciones periódicas a fin de que las anomalías que puedan presentar sean diagnosticadas y corregidas a tiempo mediante el tratamiento adecuado.[4]

##### **2.2.2.2.2.1 Proceso Corrosivo del Concreto**

El concreto armado que conforma las estructuras debe reunir no solo condiciones mecánicamente resistentes que le permitan soportar los esfuerzos y momentos a los que va a ser sometido, sino también condiciones que le lleven a soportar las acciones externas de carácter físico y químico frente a las cuales su buen comportamiento adquiere una importancia vital.

Las acciones de tipo físico que pueden crear graves defectos en el concreto e incluso llegar a su destrucción, son las debidas a los efectos expansivos producidos por la cristalización del agua al helarse o por la cristalización más o menos profunda de las sales solubles contenidas en la masa del concreto. Ambos efectos pueden combatirse haciendo concretos muy cuidadosos y compactos.

Las acciones de tipo químico son las que más importancia tienen y las que producen mayores daños en el concreto. Solamente la reparación de los daños causados por las aguas salinas del mar en estructuras de concreto armado implican gastos de millones anuales en muchos países. [4]

Tres son las posibles causas de corrosión química del concreto:

a.) Gases contenidos en la atmósfera o humos (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, etc.)



- b.) Aguas puras, turbias, acidas, selenitosas y marinas.
- c.) Compuestos fluidos o sólidos de naturaleza orgánica tales como aceites, grasas, combustible, líquidos alimenticios, etc.

Los gases contenidos en la atmósfera son el resultado de la combustión del carbón, de los derivados del petróleo empleados con fines domésticos, industriales o de tracción. Estas combustiones producen atmósferas contaminadas de gases carbónicos y sulfúricos que estarán en contacto con las superficies de las estructuras y que en presencia de la humedad del ambiente se transformaran en ácidos carbónico o sulfúrico que terminaran a lo largo del tiempo produciendo una corrosión importante sobre el hormigón.

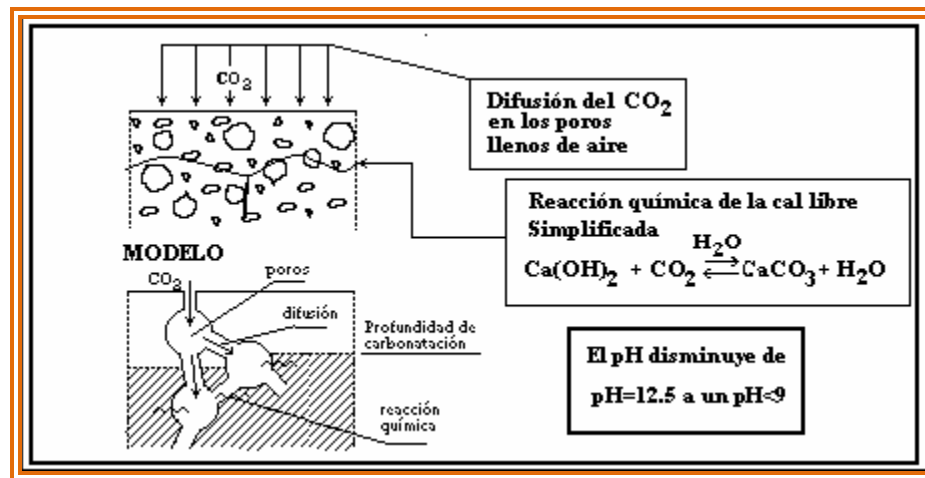


Fig. 2.2 Proceso de Carbonatación.

El agua, cuando no contiene sustancias nocivas, es un buen aliado del concreto, especialmente durante la fase de curado del mismo, sin embargo, cuando es pura o lleva disueltas sustancias químicas procedentes del aire, de la tierra o de productos de desecho, se convierte en su enemigo número uno.





La protección de las estructuras especialmente de las cimentaciones tiene por finalidad evitar que las aguas lleguen a ellas; esto se logra mediante barreras separadas del concreto o mediante recubrimientos superficiales impermeables de tipo asfáltico, resinas sintéticas, etc.

Las aguas puras destruyen el concreto debido a su gran poder de disolución.

Las aguas acidas y salinas destruyen por disolución o por transformación de los constituyentes del cemento en sales solubles que se eliminan por lavado, o por la formación de nuevos compuestos incoherentes o expansivos, como puede ser la sal de Candlot.

Los constituyentes más ricos en cal como el silicato tricálcico resisten peor los ácidos, incluso los débiles, que empiezan atando al hidróxido cálcico liberado en la hidratación del cemento.

En presencia de soluciones salinas estas sustituyen sus bases por cal formando sales cálcicas menos solubles que, a veces, dan lugar a nuevos compuestos de naturaleza perniciosa, especialmente si hay presencia de aguas sulfatadas y aguas de mar.

El aluminato tricálcico es el componente más sensible y que peores consecuencias puede tener en los concretos que se encuentran bajo la acción de las aguas sulfatadas. El sulfato cálcico de las aguas selenitosas es el peor enemigo de los cementos que contengan una cierta proporción de aluminato tricálcico debido a la formación de aluminato tricálcico con 31 moléculas de agua de cristalización (ettringita), que es expansivo.



Las aguas de mar llevan en su composición sulfato cálcico que produce los mismos efectos que las aguas selenitosas y además llevan cloruros que solubilizan la cal de la pasta fraguada.

Aparte del sulfato cálcico, las aguas de mar llevan en su composición sulfato magnésico, sódico y potásico que son más agresivos que el cálcico, sin embargo, se ha comprobado que estos sulfatos, que serían muy peligrosos en agua dulce, tienen un poder corrosivo más atenuado en el agua de mar al actuar en presencia de cloruros. Por el contrario, la disolución del hidróxido cálcico y magnésico en presencia de cloruro sódico se hace 4 veces mayor que en agua dulce. Por otra parte el hidróxido magnésico forma una película protectora que hace disminuir el grado de agresividad.

Si el cemento contiene suficiente cantidad de aluminato tricálcico y el grado de saturación en sulfatos es elevado, los cloruros existentes en el agua no podrán evitar la formación de sulfoaluminato cálcico expansivo el concreto se destruirá.

Una de las características de los concretos atacados por el agua de mar es la desagregación mediante la cual el concreto pierde su conglomerante quedando, por tanto, los áridos libres de la unión que les proporciona la pasta.

La desagregación se inicia en la superficie con un cambio de coloración, seguido con un aumento del espesor de las fisuras entrecruzadas que suelen aparecer por este motivo, y de un curvado de las capas externas debido a los aumentos de volumen que experimenta la pasta de cemento.

Un concreto compacto e impermeable fabricado con un cemento Pórtland adecuado o con un cemento puzolánico puede resistir perfectamente la acción del agua de mar. Si el concreto va a estar en contacto íntimo con ella es recomendable usar cementos con un contenido en aluminato tricálcico no superior a 7.



Si la estructura esta en las proximidades del mar, el aire, al poseer una gran concentración de sales y una humedad relativa que, en general puede ser elevada penetra por los poros del concreto destruyendo el cemento. Este ambiente corrosivo se manifiesta a veces a distancia de hasta 5 Km. En esta corrosión del concreto influye mucho la falta de compacidad del mismo, la existencia de la corrosión en las armaduras y la temperatura y humedad relativa del ambiente.

En el caso de estructuras próximas al mar deben emplearse concretos muy compactos con bajas relaciones agua/cemento, fabricados con bajo contenido de aluminato tricálcico y con espesores de recubrimiento adecuados. [4]

#### **2.2.2.2.3 Corrosión de las Armaduras**

En las obras de concreto armado y especialmente en aquellas que están situadas en las proximidades del mar, en atmósferas salinas, o en lugares muy húmedas y con atmósferas contaminadas, es muy frecuente que aparezcan fisuras debidas a la corrosión de las armaduras.

La corrosión de los aceros en el concreto armado tiene dos inconvenientes importantes: producir disgregaciones en el concreto y debilitar la sección resistente de las barras.

Podemos considerar la corrosión bajo el aspecto químico y electroquímico.

##### **2.2.2.2.3.1 Corrosión Química**

Es la que menos se presenta en el concreto armado, ya que se suelen dar todas las condiciones para que la corrosión se haga por vía electroquímica.

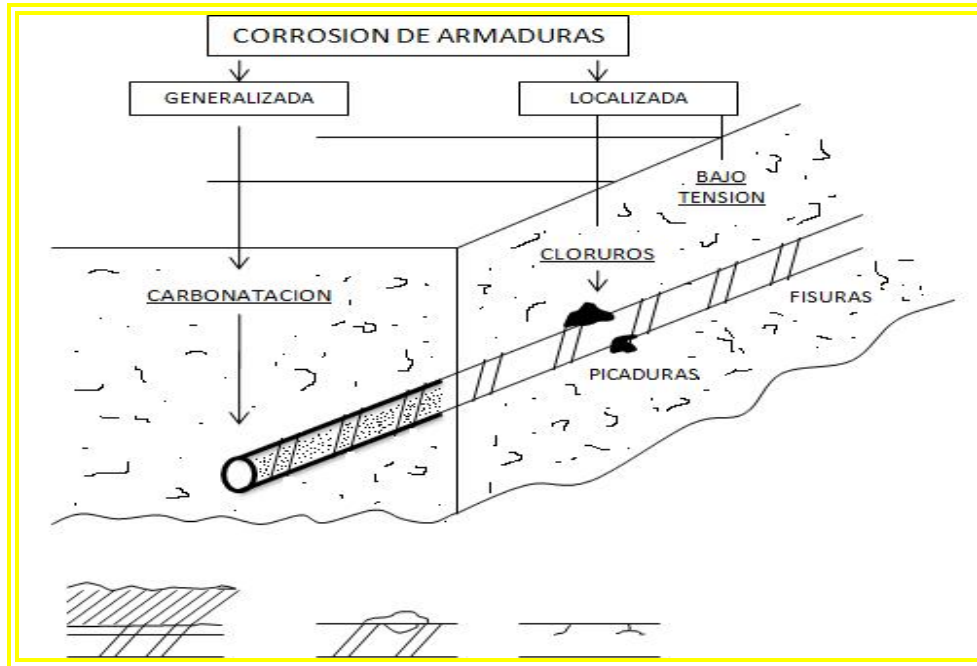


En la corrosión química, el metal reacciona de forma homogénea en toda su superficie con el medio que lo rodea, coexistiendo reacciones de oxidación – reducción y por tanto no generándose corrientes eléctricas. [4]

#### **2.2.2.2.3.2 Corrosión Electroquímica**

Esta es la que más se presenta en el concreto armado, siendo esta un proceso espontáneo que denota siempre la existencia de una zona anódica (la que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito, y es imprescindible la existencia de estos tres elementos, además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. [9]

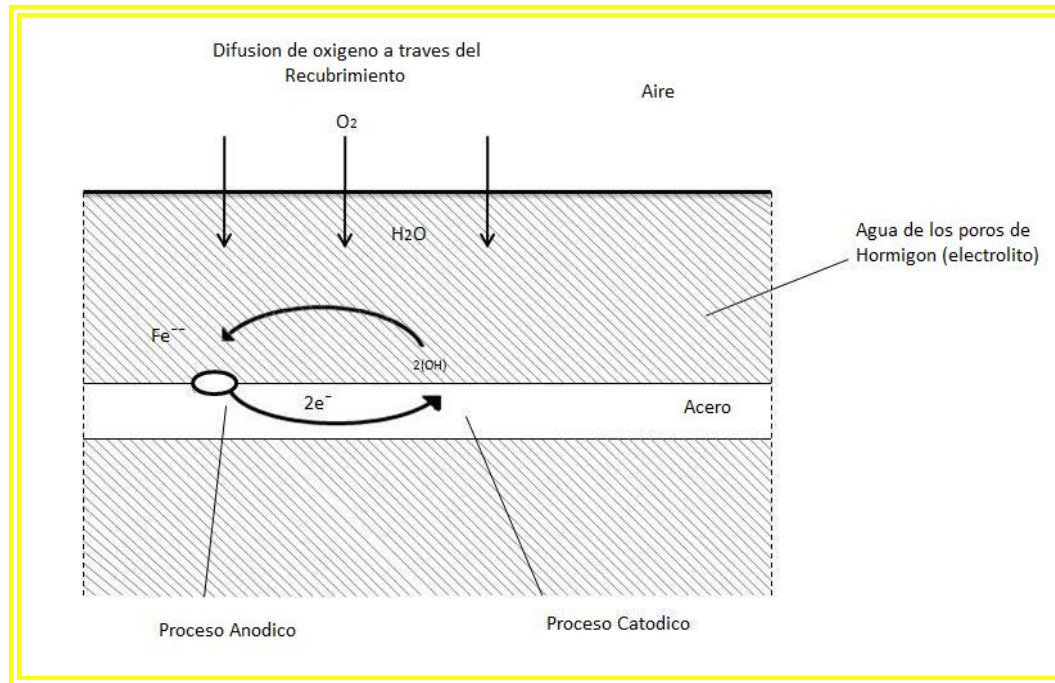
La corrosión se localiza en un principio en puntos que actúan como ánodos, dando lugar a la corrosión localizada aunque luego llegue a extenderse a toda la superficie formando la corrosión generalizada. (Figura 2.3)



**Fig. 2.3** Tipos de Corrosión de Armaduras de Concreto. [9]

Los potenciales electroquímicos que forman las pilas de corrosión se pueden generar de dos formas: a.) cuando se colocan dos metales diferentes dentro del concreto, como las armaduras de acero y los conductos de aluminio, o cuando existen variaciones significativas en las características superficiales del acero; b.) debido a diferencias en la concentración de los iones disueltos cerca del acero, como los álcalis, cloruros o el oxígeno. [9]

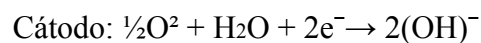
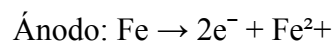
Como consecuencia uno de los dos metales (o algunas partes del metal si solo hay uno) se convierte en anódico y el otro en catódico, produciéndose una celda electroquímica. (Figura 2.4)



**Fig. 2.4** Corrosión de las Armaduras en el Concreto. [9]

En la corrosión del acero dentro del concreto, el proceso anódico no puede producirse hasta que la capa protectora del acero se elimina en un ambiente ácido (por ejemplo, por Carbonatación del concreto) o se hace permeable por la acción de los iones Cl<sup>-</sup>.

El proceso catódico no se produce hasta que en la superficie del acero se dispone de una cantidad suficiente de oxígeno y agua. Las reacciones son:



En la superficie del acero, las áreas que actúan como ánodo y como cátodo pueden estar muy próximas, a distancias medianas, e incluso a distancias relativamente grandes. En consecuencia si el concreto está lo suficientemente húmedo



para garantizar la conexión electrolítica, la corrosión puede ocurrir incluso en áreas de la estructura donde sea difícil el acceso directo del oxígeno a la superficie de la armadura. [9]

### **2.2.2.3 Durabilidad del Concreto Armado**

La durabilidad del concreto de cemento hidráulico se define como su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un concreto durable conservará su forma, calidad y serviciabilidad originales al estar expuesto a su ambiente.

Para que en el concreto se produzcan los la mayoría de los procesos físicos y químicos, tanto los deseables como los perjudiciales, se necesita agua. El calor proporciona la energía que activa los procesos. Los efectos combinados del agua y el calor, junto con otros elementos ambientales, son importantes y deben ser considerados y monitoreados.

Seleccionar materiales apropiados cuya composición sea adecuada y procesarlos correctamente de acuerdo con las condiciones ambientales existentes es fundamental para lograr un concreto durable que sea resistente a los efectos perjudiciales del agua, las soluciones agresivas y las temperaturas extremas.

La resistencia a los sulfatos presentes en el suelo, el agua del suelo o el agua de mar se logra utilizando materiales cementicios adecuados y mezclas de concreto correctamente dosificadas sujetas a un adecuado control de calidad.

Un concreto de buena calidad resistirá una exposición ocasional a ácidos suaves, pero ningún concreto ofrece buena resistencia a los ataques por ácidos fuertes



o compuestos que se convierten en ácidos; en estos casos se requiere protección especial.

La abrasión puede provocar el desgaste de las superficies de concreto. El desgaste puede ser un problema particularmente importante en los pisos industriales. En las estructuras hidráulicas, las partículas de arena o grava presentes en el agua en movimiento pueden erosionar las superficies de concreto. Por lo general, utilizando concreto de alta calidad y, en casos extremos, agregados muy duros se logra una durabilidad adecuada bajo estas condiciones de exposición. Los automóviles que utilizan neumáticos con clavos provocan serios desgastes en los pavimentos de concreto; el concreto convencional no puede soportar estos daños.

La principal causa de la corrosión del acero de las armaduras es el uso de sales descongelantes. La corrosión produce una fuerza expansiva que hace que el concreto ubicado sobre el acero se descantille. En la mayoría de los casos, utilizando sobre las armaduras un buen recubrimiento de concreto y concretos de baja permeabilidad con aire incorporado se puede asegurar una durabilidad adecuada, pero si las condiciones de exposición son severas se requerirán mecanismos de protección positivos, tales como el uso de armaduras recubiertas con epoxi, protección catódica o inhibidores de la corrosión.





**Fig. 2.5** La corrosión ha provocado el desprendimiento del recubrimiento de concreto causando la visibilidad y la vulnerabilidad de las armaduras de la viga.

Aunque habitualmente los agregados del concreto se consideran inertes, esto no siempre es así. Ciertos agregados pueden reaccionar con los álcalis del cemento, provocando expansión y deterioro. Este problema se puede aliviar seleccionando cuidadosamente las fuentes de donde se extraen los agregados y usando cementos con bajo contenido de álcalis, puzolanas previamente ensayadas o escoria triturada.

El uso de materiales de buena calidad y una correcta dosificación de la mezcla no aseguran que el concreto resultante sea durable. Para lograr concretos durables también es absolutamente fundamental contar con un sistema de control de calidad y mano de obra calificada. La experiencia demuestra que hay dos puntos a los cuales es necesario prestar particular atención: 1) el control del aire incorporado y 2) el acabado de las losas. [7]

**Tabla 2.6** Durabilidad del concreto: agentes y factores [5]

<b>Durabilidad del concreto: agentes y factores</b>	
<b>Agentes atmosféricos</b>	
Radiación:	Solar Nuclear Térmica
Calor:	Temperaturas elevadas Temperaturas bajas Ciclos de temperaturas
Agua:	Sólida: hielo – nieve Líquida: lluvia – condensación – estancada Vapor: humedad relativa elevada
Aire:	Componentes normales (N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> y agua) Gases: por ejemplo: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y CO <sub>2</sub> Nieblas: por ejemplo: aerosoles, sales, ácidos y álcalis Partículas sólidas: por ejemplo: arena, lodos y polvo
Hielo – deshielo	
Viento	Dirección – frecuencia – intensidad
Huracanes	Categoría (intensidad), frecuencia, duración
<b>Factores biológicos</b>	
Microorganismos Hongos Bacterias	
<b>Factores de carga</b>	



Carga mantenida periódica
Acción física del agua (lluvia – granizo – aguanieve – nieve)
Acción física del viento
Huracanes
Acción física del agua + acción física del viento
Movimientos debidos a otros factores, tales como instalaciones, vehículos, etc.
Acción sísmica
<b>Factores incompatibles</b>
Químicos
Físicos
<b>Factores de servicio</b>
Diseño
Instalaciones y procedimiento de mantenimiento
Desgastes, abusos

### 2.2.3 El Ambiente Marino

El agua de mar contiene sales disueltas, agresivas para el concreto. Están presentes las siguientes: cloruro sódico ( $\text{NaCl}$ ), cloruro magnésico ( $\text{MgCl}_2$ ), sulfato magnésico ( $\text{MgSO}_4$ ), sulfato cálcico ( $\text{CaSO}_4$ ), cloruro potásico ( $\text{KCl}$ ) y sulfato potásico ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).

**Tabla 2.7** Constituyentes Principales del Agua de Mar.

Constituyente	Símbolo	g/kg agua mar	en de	% por peso
Cloruro	Cl-	19.35		55.07
Sodio	Na+	10.76		30.62
Sulfato	SO <sub>4</sub> -	2.71		7.72
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	1.29		3.68
Calcio	Ca <sup>++</sup>	0.41		1.17
Potasio	K+	0.39		1.10
Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> -	0.14		0.40
Bromuro	Br-	0.067		0.19
Estroncio	Sr <sup>++</sup>	0.008		0.02
Bario	B	0.004		0.01
Fluoruro	F-	0.001		0.01
<b>Total</b>	----	----		99.99

En el medio marino se aceleran los procesos de corrosión en las estructuras de concreto armado, por la acción directa del mar o la actividad de la brisa y niebla marina.

La corrosión en el concreto, se vincula con la temperatura y humedad. Como se sabe, el incremento de temperatura potencia todas las reacciones químicas. Se estima que un aumento de la temperatura en 10°C duplica la velocidad de la reacción. La corrosión por carbonatación se activa en el rango de 60 a 90 % de humedad relativa. En el caso de la corrosión por cloruros el efecto de la humedad es importante en especial en los niveles de 70 a 90 % de humedad relativa. Experiencias en regiones



cálidas muestran que la elevada humedad relativa favorece el fenómeno de la corrosión.

La experiencia internacional sobre desarreglos por corrosión en estructuras de concreto armado y pretensado, demuestra que la corrosión se incrementa en las zonas marítimas de climas semitropicales y subtropicales, con temperaturas elevadas y apreciable humedad relativa, en comparación con los resultados que se obtienen en climas fríos o templados. De esta manera, en las regiones tropicales se hace más difícil la prevención, sea por el conveniente diseño estructural o la adopción de apropiados sistemas de construcción. [13]

### **2.2.3.1 Tipología Estructural**

Las estructuras en ambiente marino pueden clasificarse según su ubicación y las condiciones agresivas del medio, en las siguientes zonas, cuyas fronteras en la realidad no son definidas:

#### **2.2.3.1.1 Zona de Inmersión**

El concreto que se encuentra permanentemente sumergido por debajo de las zonas de mareas, es capaz de proteger las barras de acero de refuerzo pues debido a la débil concentración de oxígeno en el agua que impide la actividad corrosiva del ion cloruro, en el caso de haberse introducido hasta las barras.

En las zonas sumergidas, la penetración del agua tiene lugar inicialmente por succión capilar y se acelera en razón de la presión hidráulica, el agua ingresa con sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos.



En estos casos el comportamiento del concreto a la corrosión se diferencia según la profundidad en que se encuentra. En las zonas más profundas, la permeabilidad del concreto disminuye, pues se cierran los poros superficiales. [13]

#### **2.2.3.1.2 Zona de Marea**

Comprende los elementos entre los niveles de marea alta y baja, donde el concreto está permanentemente húmedo, debido a que la inmersión es cíclica en el lapso de un día.

Los poros se encuentran saturados, pues, el tiempo de baja marea es reducido y no se produce la desecación, lo que disminuye el peligro de corrosión, pues el concreto absorbe agua más rápidamente que la pierde. En esta zona el agua ingresa por succión capilar, transportando las sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos, sin difusión de gases.

En el concreto comprendido entre mareas, se pueden producir fisuras que adelanten la corrosión, sea por golpes de impacto o por la acción de las olas. [13]

#### **2.2.3.1.3 Zona de Salpicaduras**

Se ubica por encima del nivel de la marea alta, propensa a la salpicadura de las olas y el baño de la espuma, presenta el riesgo de ciclos alternados de humedificación y secado, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad del medio, que pueden afectar severamente el concreto.

En el período húmedo se produce el ingreso del ion cloruro por difusión, en el secado se elimina el agua en exceso, pero el concreto retiene el cloro, al repetirse el ciclo sucesivamente el porcentaje ion cloruro resulta muy elevado.



En esta zona de abundante oxígeno, la corrosión por cloro puede darse conjuntamente con la corrosión por carbonatación. [13]

#### **2.2.3.1.4 Zona de Ambiente Marino**

El concreto no está en contacto con el agua de mar, pero recibe las sales procedentes de la brisa marina y la niebla salina.

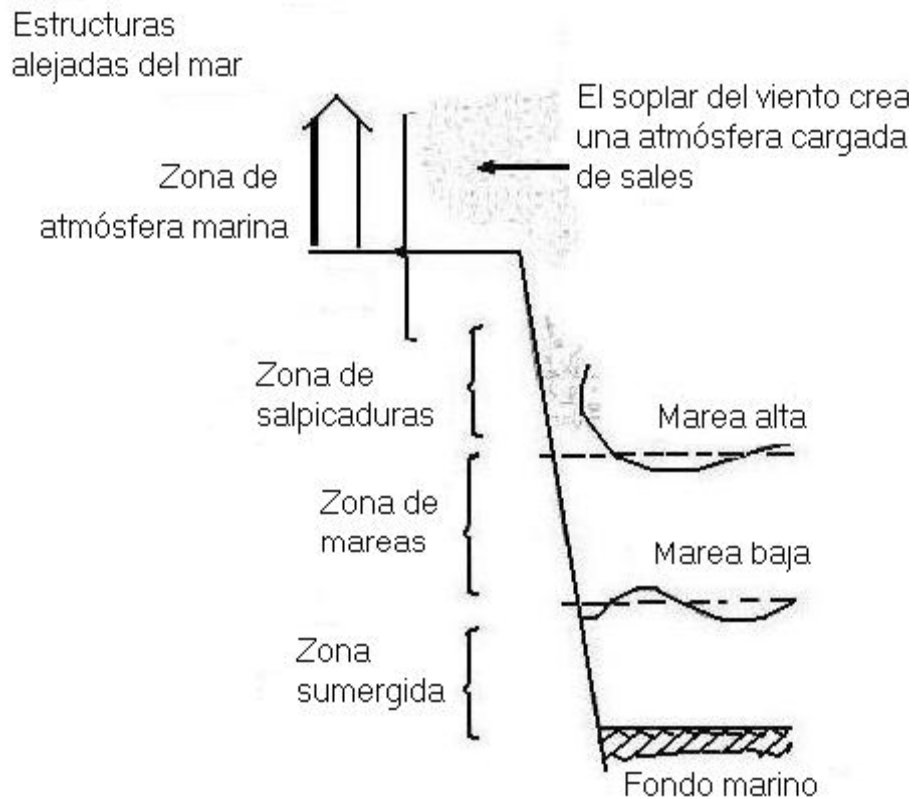
Puede comprender muchos kilómetros al interior de la costa dependiendo de las características de los vientos dominantes.

Las construcciones de concreto ubicadas en el litoral o alrededores, son propensas a la corrosión por cloro en suspensión en la atmósfera, en forma de microscópicas gotas de agua de mar. En la niebla o aerosol la concentración salina de cloruros y sulfatos eventualmente puede ser mayor que en el agua de mar, debido a la gran dispersión de las gotas y la evaporación parcial de agua, en especial cuando la temperatura es alta y la humedad relativa es baja.

En esta zona la corrosión produce fallas características en el concreto, como fisuras, grietas y desprendimientos del revestimiento, pero además, causa un peligroso daño invisible, que afecta las estructuras en casos de sismos. En efecto, los cloruros de la brisa marina atacan la estructura reduciendo la sección del acero de refuerzo, de manera que cuando recibe sollicitaciones por efecto del sismo, únicamente puede soportar una pequeña parte de la carga de diseño.

En las estructuras aéreas los poros mayores del concreto generalmente se llenan de aire pero cuando la humedad ambiente es mayor, la superficie de los poros se cubre con una capa de agua adsorbida. Los cloruros disueltos se difunden a través de

esta capa de agua que recubre las paredes de los poros o a través de los poros llenos de agua; si la cantidad de agua es menor, entonces la cantidad de difusión se reduce. El transporte de las sustancias disueltas en el agua es un proceso de difusión por la humedad del aire, inducido por la gradiente de tensiones. [13]



**Fig. 2.6** Ubicación de las Zonas de acuerdo a las Condiciones agresivas del ambiente marino [13]

### 2.2.3.2 Refuerzos de Estructuras Dañadas por el Ambiente Marino

El fenómeno de la corrosión del concreto armado es importante por los riesgos que entrañan y por los grandes perjuicios económicos que ocasiona y no solo por el mantenimiento constante que exige de las estructuras y por los gastos de reparaciones





y refuerzos que hay que realizar sino también por la inmovilidad e incluso demolición que en muchas ocasiones hay que hacer de las mismas.

Hay países en los que por sus condiciones climatológicas los daños producidos son realmente preocupantes y esto ha motivado que sean muchos los estudios que se hayan realizado o estén en vías de ejecución para tratar de conocer cada vez más el fenómeno corrosivo con vistas a desarrollar nuevas técnicas de protección y dictar normas que impidan que estos problemas se presenten o, al menos, que si se originan su velocidad quede muy reducida de tal forma que la estructura pueda cumplir su misión durante la vida que se le ha asignado, con un margen de seguridad adecuado. Los problemas corrosivos por ambiente marino han suscitado aun más el interés de los investigadores debido a la gran cantidad de estructuras mar adentro que se están construyendo.

La corrosión del acero está influenciada por muchos factores, pero cabe destacar que estos daños no solo se producen en estructuras que están sometidas a la acción del ambiente marino o próximo a él, sino también en aquellas otras que lejos de la costa, están expuestas a atmósferas agresivas en las que existen iones cloro u otro tipo de iones que actúen de catalizadores de la misma o bien gases ácidos y esto es frecuente en complejos industriales e incluso en ciudades.

#### **2.2.3.2.1 Daños Ocasionados en Estructuras Sometidas a la Acción de Atmósfera Marina**

Los daños ocasionados por la corrosión de armaduras son muy espectaculares y a veces aparecen con gran rapidez.

El primer síntoma que presenta un elemento estructural en el cual se haya iniciado la corrosión es la aparición de una fisuración coincidiendo con la situación



en las barras principales. Estas fisuras, en un principio capilares, provocadas por las tensiones originadas por el óxido expansivo formado alrededor de las barras, van abriéndose con el paso del tiempo a la vez que empiezan a aparecer otras coincidiendo con el plano de los estribos y cercos. La velocidad con que la corrosión va avanzando y la fisuración va incrementándose, depende del acceso de oxígeno, humedad, carbonatación y presencia de iones de cloro. Al llegar a un determinado valor se produce el desprendimiento de las esquinas de los elementos estructurales aunque hay veces que por efecto de laminación se desprende todo el recubrimiento.

Como consecuencia de la pérdida de sección de las armaduras su capacidad resistente va disminuyendo a la vez que desaparece la adherencia al concreto por efecto de la capa de óxido pulverulento formado entre los dos materiales.

Al quedar las armaduras expuestas al aire libre, la corrosión sigue avanzando a mayor velocidad y el volumen aparente del óxido que en un principio era de 3 a 4 veces el del acero desaparecido, puede llegar a ser 10 veces superior.

Debido a la menor sección de los estribos o cercos estos terminan por desaparecer, con lo cual las barras principales quedan sin sujeción o atado y por tanto expuestas a pandeo. Su contribución resistente se anula y las solicitaciones quedan actuando solamente sobre el núcleo de concreto que al mismo tiempo pudo haber perdido resistencia en una zona más o menos profunda por efecto de la corrosión que el cloro va ejerciendo sobre el propio concreto, dependiendo del tipo de cemento que se haya empleado en su confección.

En estas condiciones si el elemento no ha colapsado debe estar próximo a hacerlo.



La velocidad de proceso de las fases anteriormente descritas y que son comunes para elementos verticales u horizontales, depende especialmente de la porosidad del concreto, espesor del recubrimiento, medidas de protección adoptadas, etc.

Es frecuente en construcciones nuevas expuestas a ambientes marinos tener en cuenta estos factores, empleando recubrimientos adecuados, las dosificaciones de cemento para mantener una alcalinidad elevada, bajar relaciones agua-cemento y curados efectivos y duraderos para evitar porosidad en el concreto. [4]

#### **2.2.3.2.2 Reparación de los Elementos Dañados por Corrosión Marina**

Los pasos a seguir en la reparación de los elementos dañado por corrosión marina en los siguientes:

##### **2.2.3.2.2.1 Eliminación del Concreto Dañado:**

Esta operación es fundamental a fin de conseguir un núcleo sano sobre el que fijarla reparación que se va a realizar. La eliminación del concreto puede hacerse mediante escarificado, puntero y martillo, o mediante cualquier otro medio manual, mecánico o neumático; en cualquier caso esta operación hay que extenderla hasta la parte posterior de las barras a fin de dejar libre unos 2,5cm alrededor de las mismas para poder realizar fácilmente la limpieza de estas.

Hay ocasiones, especialmente en el caso de vigas de pequeña sección, en que esta operación además de debilitar totalmente la viga encarece tanto su ejecución, que es mejor y más práctico, eliminarla y sustituirla por otra nueva.



#### **2.2.3.2.2 Sellado de Fisuras**

Una vez realizada la eliminación del concreto suelto o corroído, es conveniente observar detenidamente las superficies del núcleo para detectar posibles fisuras; si estas existen, se procederá a inyectarlas con una resina epoxi de baja viscosidad.

#### **2.2.3.2.2.3 Restauración de la Capacidad Resistente Inicial de las Armaduras**

La corrosión puede haber afectado tanto las armaduras que su capacidad resistente haya disminuido de una forma tan considerable que el coeficiente global de los elementos no sea satisfactorios, en este caso la restauración de las armaduras se hará cortando los trozos de barras excesivamente debilitados y sustituyéndolos por otros soldados a los sanos existentes. La longitud de solapo a la zona soldada no será inferior a 10 diámetros y si en vez de soldadura se utiliza atado con alambre, esta longitud será de 40 diámetros. A veces se colocan nuevas barras en sustitución de las eliminadas sujetándolas directamente al concreto por medio de anclajes unidos al mismo mediante resinas epoxi u otro sistema de expansión adecuado. Una vez restauradas las barras principales y colocados los estribos precisos se procede a realizar una limpieza con chorro de arena que elimine los restos de oxido y de partículas sueltas de la superficie de concreto. En los casos en los que nos se puede usar el chorro de arena se puede aplicar una limpieza con cepillo mecánico de alambre.

Inmediatamente después de limpiada la armadura debe darse una capa de adhesivo epoxi, tanto a ellas como al concreto, cuya misión es de servir de adhesivo al concreto a colocar con el existente y crear una barrera impermeable que aisle del exterior a las armaduras. Estando aun fresca esta capa de adhesivo se debe proceder a la colocación del nuevo concreto.



Si la colocación del concreto va a demorarse, no se dará al adhesivo al concreto, pero si a la superficie de las barras limpias teniendo la precaución de espolvorear sobre ellas arena fina para que luego se tenga una mayor adherencia entre esta superficie tratada y el concreto que se coloque. El actuar de esta forma es porque el acero recién limpio de óxido es propenso a volver a oxidarse con rapidez, y la capa de resina crea una fuerte protección.

#### **2.2.3.2.2.4 Colocación del Nuevo Concreto**

Al hablar del nuevo concreto lo hacemos con un carácter general debido a que en vez de concreto, hay veces en que puede emplearse un mortero de cemento Pórtland o bien resinas epoxi.

Varios son los métodos de reconstruir el elemento estructural, los cuales son:

1. **Gunitado:** el empleo del gunitado o concreto proyectado en reparaciones de estructuras dañadas por corrosión está justificado, por dar lugar a capas de poca porosidad, si se emplean bajas relaciones agua/cemento, muy unidas al concreto base, y en las que el rendimiento de colocación es muy elevado. Sin embargo el gunitado requiere para estas aplicaciones personal muy especializado y competente con el manejo del cañón para evitar que queden sombras debajo de las armaduras que pueden ser motivo de posteriores ánodos corrosivos. Generalmente se emplea el sistema de mezcla en seco y este permite trabajar con relaciones agua/cemento mas bajas que en el caso de mezclas en húmedo. Elegir bien el tipo de cemento es importante, debiendo ser Pórtland si el elemento esta en ambiente marino y puzolánico si esta sumergido en el agua de mar. Modernamente se están utilizando los morteros proyectados que llevan en su composición látex en sustitución de parte de agua, lo que mejora la resistencia a tracción, compresión, cortante y abrasión



de la gunita que a su vez que incrementa su adherencia al concreto, mejorando igualmente la impermeabilidad y dando como resultado un material con excelente durabilidad. Al usar este método de reparación se debe tener una distancia desde la boquilla hasta la superficie a trata de 0,6 a 1,8m. Esto puede traer problemas en estructuras en el mar ya que debe disponerse de pontones y barcazas, lo que puede hacer desistir este sistema de reparación y recurrir al sistema tradicional.

- 2. Colocación por el sistema tradicional:** este sistema requiere el empleo de encofrados que a veces hay que hacer en obra, pero se consiguen superficies con mejor acabado. Por otra parte se obtiene una buena regularidad en la calidad del concreto puesto en obra y con empleo de superplastificantes pueden colocarse concretos don bajas relación agua/cemento. Si las reparaciones son pequeñas pueden emplearse morteros de cemento a los que se les puede agregar látex acrílicos, pero en cualquiera de los casos se debe utilizar resina epoxi de unión de concretos o dar una lechada de cemento, látex y arena, o si se trata de reparaciones muy pequeñas bastara con saturar con agua la superficie de concreto existente. En estas reparaciones conviene hacer un buen curado del concreto o mortero para evitar su fisuración y adquiera la resistencia prevista.
- 3. Mortero epoxi:** este sistema se aplicara luego de haber dado una película de la misma formulación epoxi del mortero sobre la superficie de concreto y de la armadura sobre la que se hace la aplicación. Los morteros epoxi empleados deben poseer un coeficiente de dilatación térmica y un modulo de elasticidad lo más parecido posible al concreto base y esto obliga a tener que emplear una gran cantidad de arena en su composición. Normalmente estos morteros poseen una relación formulación epoxi: árido de 1:6 a 1:8; son por tanto



morteros secos que deben amasarse enérgicamente para conseguir una buena uniformidad y en lo que la arena a utilizar debe ser sílica y seca.

#### **2.2.3.2.2.5 Aplicación del Tratamiento Superficial**

No siempre es necesario aplicar protecciones superficiales a los elementos reparados o a las estructuras en contacto con el ambiente marino. Una estructura estará bien protegida si se han empleado en ella áridos y cemento adecuados, buena granulometría sin exceso de finos, baja relación agua/cemento del orden de 0,45, un recubrimiento adecuado con un mínimo de 4cm y un máximo de 5cm y un buen curado. No obstante, hay condiciones en que, la proximidad al mar es tan grande que la estructura esta soportando el contacto del agua de mar, sino de forma permanente de forma accidental por medio de salpicaduras e incluso arrastradas por el agua de lluvia. Si a estos casos sumamos los efectos de las altas temperaturas existentes en climas tropicales o próximos a ellos, veremos que las condiciones son muy favorables para que si existen poros penetre el oxígeno, el agua y los iones de cloro produzcan la temida corrosión. En estas condiciones está muy justificado el uso de protecciones superficiales aplicando superficialmente asfalto procedente del cok, pinturas epóxicas e incluso instalando protecciones catódicas en las armaduras. [4]

#### **2.2.4 Aplicación de la Adecuación Estructural de Edificaciones**

En edificaciones que han sido sacudidas y dañadas recientemente por un terremoto, o cuando se teme que algunas, bien por su antigüedad, por estar próximas a cumplir su vida útil, o por su importancia, puedan sufrir daños importantes ante la acción de sismos futuros, se hace preciso emprender un proceso de reforzamiento estructural mejor conocido como adecuación estructural.



La primera interrogante que surge es determinar si una edificación debe ser o no reforzada. Una respuesta fácil sería afirmar que cualquiera edificación que haya sido diseñada y construida con normativas anteriores la norma actual vigente debe ser reforzada. Pero aun cuando una edificación cumpla con los requisitos normativos vigentes no significa que no tenga deficiencias y por tanto que no sea vulnerable, y esto solo podrá determinarse mediante una revisión exhaustiva del diseño estructural y de una inspección de la misma.

Independientemente de si la edificación que se piensa reforzar haya sido o no afectada previamente por un sismo, la concepción y el diseño de la solución de reforzamiento debe intentar satisfacer, dentro de lo posible, los requerimientos normativos vigentes. Estos requerimientos incluyen una revisión de las acciones: cargas permanentes, variables y sísmicas, pero aun garantizando teóricamente la resistencia requerida, pueden existir deficiencias en la construcción de la edificación original que deben también ser corregidas y por tanto, tomar parte del proyecto de reforzamiento integral, convirtiendo el proceso de reforzamiento en una suerte de ciencia y arte.

Conviene señalar que no basta con cumplir con los requerimientos normativos de prevención y mitigación de daño estructural como apuntábamos antes. Es igualmente importante prevenir y mitigar el daño de los elementos no estructurales. Esto incluye la rotura de vidrios, daños a instalaciones eléctricas y sanitarias, caída e techos falsos paredes de mampostería interior y de fachadas, parapetos y elementos ornamentales, daños de elevadores, etc. Así como evitar el efecto de columna cautiva.

Pueden distinguirse dos tipos de adecuación estructural: la adecuación preventiva y la adecuación correctiva. La primera tiene lugar cuando se decide reforzar o adecuar estructuralmente una edificación que se sospecha puede sufrir daños durante sismos futuros, bien sea porque ya cumplió su vida útil, porque sus





características o configuración estructural así lo sugieren o porque se piensa cambiar su uso.

La adecuación correctiva tiene lugar cuando una edificación ha sido afectada, bien sea por la acción de un sismo o por la acción de alguna otra amenaza de tipo natural (deslaves, inundaciones, etc.) [8]

# CAPÍTULO III

## MARCO METODOLÓGICO

La metodología empleada en la realización del trabajo de investigación se encuentra resumida en el siguiente diagrama de flujo y luego se explicará con más detenimiento:

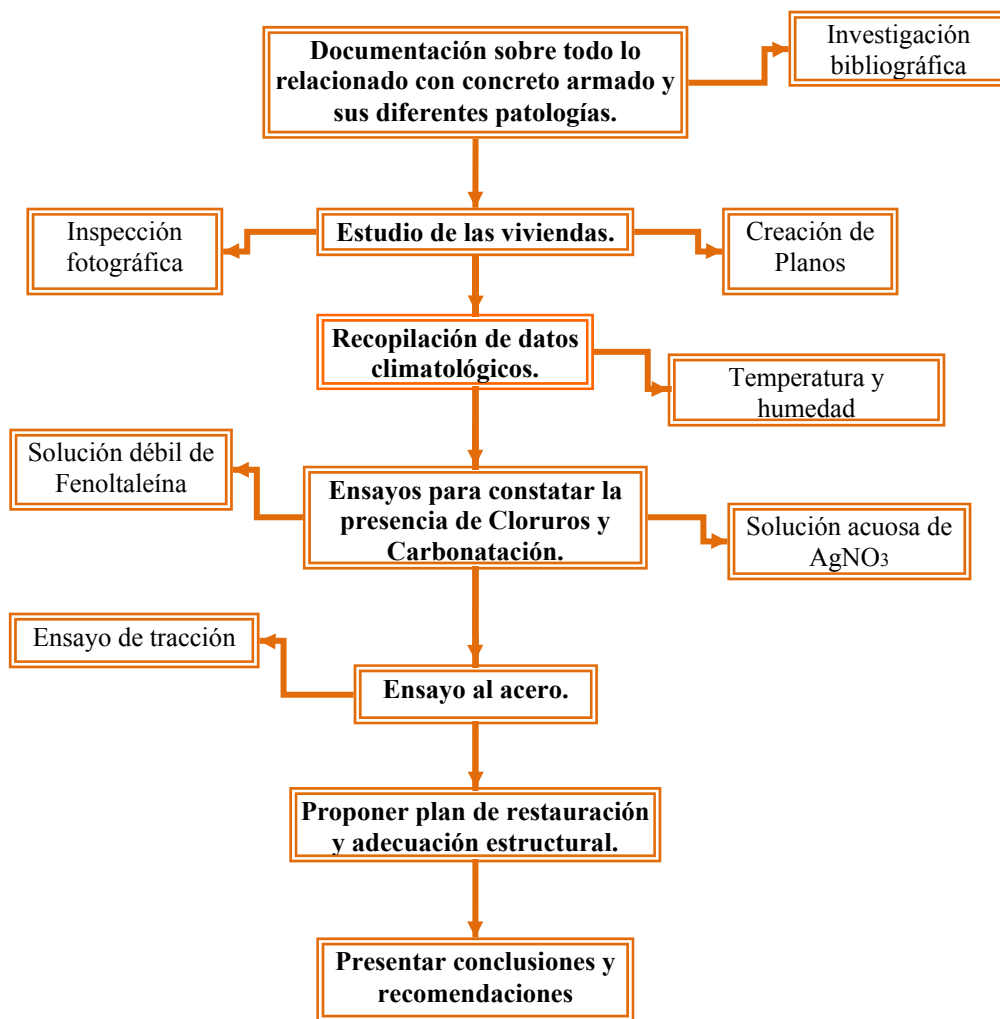


Fig. 3.1 Metodología empleada en el trabajo de investigación



- La documentación comprendió la revisión y estudio de la mayor cantidad posible de textos, tesis, normas, manuales y documentos publicados en Internet por instituciones reconocidas, sobre todo lo relacionado con el concreto armado y sus patologías, la cual fue de gran utilidad para la realización del trabajo de grado.
- Se llevo a cabo la investigación mediante inspecciones de reconocimiento apoyadas fotográficamente y con la realización de los planos de las viviendas, lo cual permitió una mejor visualización de los problemas que presentan.
- A parte de la inspección física a las viviendas, también se obtuvo información climatológica (temperatura y humedad) de la conurbación en estudio, a través de una solicitud realizada al Jefe de la Estación Meteorológica Aeronáutica 419, ubicada en el Aeropuerto Internacional de Barcelona. La recopilación de dichos datos climatológicos fueron de ayuda para tener un conocimiento del grado de agresividad del ambiente.
- Se efectuaron ensayos de monitoreo de corrosión y carbonatación, para constatar la presencia de cloruros y de dicho fenómeno, para lo que se usaron soluciones de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) y Fenoltaleína respectivamente, los cuales se realizaron de la siguiente manera:
  1. Se ubicaron elementos estructurales de las viviendas.
  2. Se aplicó la solución de acuerdo al ensayo a realizar.
  3. Se observó la reacción obtenida.



- Se llevo a cabo el ensayo de tracción para luego comparar los resultados con valores de las Normas COVENIN 1753- 2006 y COVENIN 316-2000.
- Luego de la obtención de los ensayos realizados se procedió a crear planes de acción para la restauración y adecuación estructural.
- Finalmente se presentaron las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO IV**

### **EVALUACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES**

La evaluación de los daños en las estructuras se tomó en cuenta la determinación de la anchura, forma, orientación, longitud y ubicación, información que puede ser de ayuda para determinar las causas que han producido la fisuración

Ya que el espesor de las fisuras pueden ser fuentes de corrosión de las armaduras es importante conocer su valor, al evaluar las estructuras estos datos se consiguieron con la ayuda de un calibrador de bujías, que permite obtener medidas por debajo del milímetro.

La longitud de las grietas se obtuvo con la ayuda de una cinta métrica y escalímetro, se determinó la estabilización de las fisuras con láminas delgadas de vidrio utilizadas como testigos sobre las grietas más graves, las cuales se romperían en el caso de que se abriera más la grieta delatando la deformación y definiendo a la grieta como activa.

#### **4.1 VIVIENDA EN LECHERÍA**

Esta vivienda unifamiliar (figura 4.1), fue construida hace aproximadamente 60 años siendo su dueño original el Dr. Guzmán Lander, el cual la otorgo por herencia a un hijo de crianza. Esta obra presenta actualmente problemas de agrietamiento y corrosión en sus elementos estructurales, debido fundamentalmente a la acción de la atmosfera marina.

Los propietarios de la vivienda, no le han realizado reparaciones a la estructura, solo la han pintado, debido a que la misma se encuentra en un proceso de



expropiación por parte de la alcaldía de lechería para la construcción del Boulevard de Playa Cangrejo.

En vista de que este proceso lleva años y no se ha concretado, es de interés de los propietarios reparar la estructura por lo cual se tratara de encontrar las posibles razones que dieron origen al deterioro para dar las recomendaciones para su reparación.



**Fig. 4.1** Vivienda ubicada en Lechería, construida en el año 1950 aproximadamente.

#### **4.1.1 Descripción de la Estructura**

##### **4.1.1.1 Ubicación**

La vivienda se encuentra ubicada en el Sector Casco Central del Municipio Urbaneja, Estado Anzoátegui, Av. Principal de Lechería Casa N° 0-217.



#### **4.1.1.2 Descripción de los Elementos Estructurales**

El proyecto original presentaba una vivienda unifamiliar de concreto armado de 1 nivel, con pórticos en ambas direcciones, conformada por columnas y vigas de sección rectangular, la losa de fundación esta sobre vigas de riostra y el techo es de losa tabelón. Hace 5 años la estructura se modificó en su parte posterior, ya que un mar de leva tumbo el muro, por esta razón el patio de la vivienda se redujo a 1,80m de largo.

#### **4.1.2 Revisión del Proyecto Original**

##### **4.1.2.1 Planos**

No fue posible localizar todos los planos originales de la vivienda, ya que los propietarios no contaban con los mismos, solo tenía algunos y en gran estado de deterioro. Considerando el año de construcción, se solicitaron en la Alcaldía de Barcelona, en donde alegaron haber traspasado los documentos a la Alcaldía de Lechería cuando esta comenzó a funcionar como Municipio, y en esta tampoco se hallaron, posiblemente por mal manejo de los archivos.

De acuerdo a lo antes expuesto, los planos fueron realizados por cuenta propia con la guía de algunos planos en deterioro (Anexo A).

#### **4.1.3 Descripción de los Daños en los Elementos**

##### **4.1.3.1 Daños en Columnas**

- Grietas verticales de gran espesor y longitud (figura 4.2).



**Fig. 4.2** Grietas verticales de gran tamaño en Columnas.

- Desprendimiento del concreto en el centro y extremo de las columnas formando esto último rótulas plásticas (figura 4.3 y 4.4).





**Fig. 4.3** Desprendimiento del concreto en el nodo.



**Fig. 4.4** Desprendimiento del concreto en las columnas, con exposición del acero de refuerzo.

#### 4.1.3.2 Daños en Vigas

- Grietas verticales y horizontales con mucha frecuencia en toda la longitud de la viga (figura 4.5).



**Fig. 4.5** Grietas horizontales y verticales en la viga.

- Desprendimiento del material de recubrimiento del elemento, exponiendo el acero de refuerzo (figura 4.6).



**Fig. 4.6** Desprendimiento del concreto en la viga.



- En la unión entre vigas y columnas (nodos) se observaron grietas (figura 4.7).



**Fig. 4.7** Grietas en el nodo.

#### **4.1.3.3 Daños en losas de Fundación y Techo**

- Fundación del muro expuesta (figura 4.8).



**Fig. 4.8** Fundación del muro superficial.

- La losa de piso presenta grietas (figura 4.9).



**Fig. 4.9** Grietas en losa de piso.



- La losa de techo grietas verticales de gran espesor (figura 4.10).



**Fig. 4.10** Grietas verticales en la losa.



- Desprendimiento del recubrimiento en la losa de techo (figura 4.11).



**Fig. 4.11** Desprendimiento del recubrimiento en la losa tabelón, debido a la corrosión del acero de refuerzo.



- Filtraciones en la losa con presencia de moho a causa de la humedad (figura 4.12).



**Fig. 4.12** Grandes filtraciones en la losa, producen corrosión del acero y desprendimiento del concreto.



- Desprendimiento del recubrimiento dejando al descubierto el perfil metálico corroído (figura 4.13).



**Fig. 4.13** Corrosión del perfil metálico





- Grandes grietas en la losa de techo (figura 4.14).



**Fig. 4.14** Grandes grietas longitudinales en la losa de techo.

- Rotura de los tabelones y corrosión del acero de refuerzo (figura 4.15).



**Fig. 4.15** Rotura de los tabelones y corrosión del perfil metálico.

#### **4.1.4 Cuadros Clínicos de los Daños en los Elementos Estructurales.**

##### **4.1.4.1 Clasificación de los Daños en Columnas**

- Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:

**A-1:** Sin daños

**A-2:** representa aquellos elementos con fisuras casi imperceptibles de anchos hasta 0,2mm.

- Clasificación B. Daño Leve: aquellos elementos con anchos de fisura entre 0,21 – 1mm.



- Clasificación C. Daño Moderado: elementos que presentan anchos de fisura entre 1,1 – 3mm.
- Clasificación D. Daño Fuerte: elementos que presentan anchos de fisura entre 3,1 – 5mm
- Clasificación E. Daño Severo:

**E-1:** representa a aquellos elementos con anchos de fisuras mayores a 5mm.

**E-2:** los elementos que presenten desprendimiento del concreto y desgaste del acero de refuerzo.

**Tabla 4.1.** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Lechería.

**Nota:** la vista establecida para identificar la cara fue perpendicular a los números.

G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales.

Columna	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
A1	-----	-----	-----	-----	A-1	
C1	G.V: posterior	superior	0,127	30	A-2	
F1	G.V: posterior	superior	0,457	10	B	
	G.H: posterior	centro	0,508	5		
I1	G.V: posterior	inferior	0,66	3	E-2	Presenta desprendimiento del concreto en la parte superior y desgaste en el acero de refuerzo.
A2	G.V: lateral derecha	inferior	0,838 - 2	23	C	La grieta va creciendo de espesor desde arriba hacia abajo desde 0,838 hasta 2mm
J2	G.V: lateral derecha	superior	0,0015	5	B	
	G.V: lateral derecha	inferior	1	3		
A3	G.V: lateral derecha	inferior	0,127	20	A-2	
	G.H: lateral derecha	centro	0,076	5		

<b>E3</b>	G.V: frontal	superior	2	50	C	La grieta vertical frontal viene desde el nodo
	G.V: posterior	superior	1,5	30		
	G.V: lateral izquierda	inferior	1,5	60		

Fuente: Elaboración propia

**Continuación Tabla 4.1.** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Lechería.

<b>Columna</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>G3</b>	G.V: frontal	superior	1	15	D	La grieta vertical superior de 1mm está a 1cm del nodo
	G.V: lateral derecha	superior	3,3	8		
	G.V: posterior	centro	0,356	40		
	G.H: lateral izquierda	centro	0,838	25		
<b>J3</b>	G.V: frontal	superior	1	30	E-2	La grieta vertical frontal viene desde el nodo. Presenta desprendimiento del material en el nodo, quedando expuesto el acero de refuerzo corroído.
	G.V: frontal	centro	0,737	50		
	G.V: frontal	centro	3	8		
	G.V: lateral derecha	superior	0,889	60		
	G.V: lateral derecha	centro	1	8		
	G.V: lateral izquierda	superior	0,889	75		
<b>E4</b>	G.V: frontal	Superior	0,127	20	A-2	La grieta esta a 5 cm del nodo
<b>G4</b>	G.H: Lateral izquierda	superior	0,330	25	B	La grieta se encuentra en el nodo
<b>J4</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,889	30	B	
	G.V: lateral izquierda	centro	0,838	20		
<b>A5</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	

<b>D5</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>E6</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>G6</b>	G.V: Frontal	centro	0,889	15	B	
<b>J6</b>	G.V: lateral izquierda	superior	0,889	30	E-2	Todas las grietas empiezan desde el nodo. Hay desprendimiento del concreto y corrosión en el acero de refuerzo en el nodo y en gran parte del centro de la columna
	G.V: lateral derecha	superior	2	120		
	G.V: posterior	superior	4	120		

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.1.** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Lechería.

<b>Columna</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>A7</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>D7</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>H7</b>	G.V: Lateral derecha	centro	0,889	20	B	
<b>A8</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>D8</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>H8</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,838	40	B	La grieta viene desde el nodo.
<b>A9</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>D9</b>	G.V: lateral izquierda	centro	0,038	20	A-2	
<b>H9</b>	G.V: lateral derecha	centro	0,178	30	A-2	
<b>A10</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>D10</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>H10</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,229	20	B	
<b>A11</b>	----	----	----	----	A-1	
<b>D11</b>	G.V: lateral izquierda	centro	0,178	15	A-2	



<b>H11</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,889	10	B	
	G.V: lateral derecha	centro	0,787	14		

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.1.** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Lechería.

<b>Columna</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>J12</b>	G.V: lateral derecha	superior	1,5	30	E-2	La columna presenta en el centro desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo corroído.
<b>A13</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>B13</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,152	20	A-2	
<b>D13</b>	G.V: lateral derecha	Toda la sección	6	320	E-1	Las grietas ocupan toda la sección de la columna.
	G.V: lateral izquierda	Toda la sección	4	320		
	G.H: lateral derecha	Toda la sección	0,889	45		
<b>H13</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,889	15	E-2	Las grietas vienen desde el nodo, en todas las caras hay desprendimiento del concreto y se observa el acero de refuerzo corroído.
	G.V: lateral izquierda	superior	0,787	60		
	G.V: frontal	superior	5	200		
	G.V: posterior	superior	4	40		
<b>A14</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	

<b>B14</b>	----	----	----	----	A-1	
------------	------	------	------	------	-----	--

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.1.** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Lechería.

<b>Columna</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>J14</b>	G.V: lateral izquierda	Toda la sección	3	300	E-2	La columna presenta en el centro desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo corroído.
	G.V: lateral izquierda	superior	2	30		
	G.V: lateral izquierda	inferior	0,889	40		
	G.H: lateral derecha	Toda la sección	4	300		
	G.H: lateral derecha	superior	1	60		
<b>A15</b>	G.V: posterior	superior	1	50	B	
<b>B15</b>	G.V: posterior	Toda la sección	1,5	320	E-1	
<b>J15</b>	G.V: lateral derecha	inferior	1	60	B	
<b>A16</b>	G.V: lateral derecha	superior	0,889	25	B	
<b>B16</b>	G.V: posterior	superior	5	50	D	La grieta baja desde el nodo
<b>J17</b>	G.V: lateral derecha	inferior	0,889	60	C	
	G.V: lateral izquierda	inferior	2	50		
<b>A18</b>	G.V: frontal	inferior	3	60	E-2	La grieta de 7mm es la misma y se ve en las 2 caras. Hay desprendimiento del material en el
	G.V: frontal	superior	7	50		

	G.V: posterior	superior	7	50		nodo y se observa el acero.
<b>B18</b>	G.V: posterior	centro	1	40	B	
<b>F18</b>	G.V: posterior	superior	1,5	50	C	
<b>J18</b>	G.V: posterior	superior	0,889	60	E-2	La columna presenta desprendimiento del concreto en el nodo.

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.1.4.2 Clasificación de los Daños en Vigas

- Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:

**A-1:** Sin daños

**A-2:** representa aquellos elementos con fisuras casi imperceptibles de anchos hasta 0,076mm.

- Clasificación B. Daño Leve:

**B-1:** aquellos elementos con anchos de fisura entre 0,2 – 1mm.

**B-2:** elementos con anchos de fisura entre 0,2 – 1mm y moho.

- **Clasificación C. Daño Moderado:** fisuras entre 3,1 – 4 mm, desprendimiento del concreto y presencia de moho.
- **Clasificación D. Daño Fuerte:** aquellos elementos con anchos de fisuras entre 4,1mm o más y desprendimiento del concreto.
- **Clasificación E. Daño Severo:** aquellos elementos con anchos de fisuras entre 4,1mm y más, que presenten desprendimiento del concreto y desgaste del acero de refuerzo.

**Tabla 4.2** Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Lechería.

G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales; G.I: grietas inclinadas

<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>E3-E4</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,889	300	E	Presenta desprendimiento del concreto en la cara inferior y se observa gran parte del acero del refuerzo corroído desgastado.
	G.H: lateral izquierda	superior	0,483	300		
	G.H: lateral izquierda	centro	5	300		
	G.H: inferior	centro	6	300		
	G.H: inferior	centro	5	300		
<b>G3-G4</b>	G.H: inferior	desde G4	0,889	150	C	Presenta moho a causa de la humedad proveniente de la losa y desprendimiento del concreto en el centro.
	G.H: inferior	centro	3	100		
	G.H: inferior	desde G4	0,483	40		
<b>J3-J4</b>	G.H: lateral derecha	desde J4	3	120	E	Presenta desprendimiento del concreto en el centro y en el nodo observándose el acero de refuerzo. Presenta moho en algunos lugares.
	G.H: lateral derecha	desde J4	0,889	150		
	G.H: lateral izquierda	centro	0,787	50		

<b>E4-E6</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>G4-G6</b>	G.H: inferior	G4	0,483	25	B-2	La grieta esta en el nodo. Presenta moho en la cara lateral derecha y lateral izquierda

Fuente: Elaboración propia.



Continuación Tabla 4.2 Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Lechería.

Viga	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
J4-J6	G.V: lateral izquierda	J6	0,889	20	E	Las grietas van desde el nodo hasta la columna. Presenta desprendimiento del material en el nodo J6 y se observa el acero.
	G.V: lateral derecha	J6	3	20		
	G.V: posterior	J6	4	20		
A5-D5	----	----	----	----	A-1	
D5-D7	----	----	----	----	A-1	
A5-A7	----	----	----	----	A-1	
A7-D7	----	----	----	----	A-1	
D7-H7	----	----	----	----	A-1	
A7-A8	----	----	----	----	A-1	
D7-D8						No se pudo observar si tiene daños.
H7-H8	G.V: lateral derecha	desde H8	0,838	25	B-1	La grieta vertical va desde el nodo hacia la columna.
	G.H: lateral izquierda	centro	0,889	16		
A8-A9	----	----	----	----	A-1	

<b>D8-D9</b>						No se pudo observar si tiene daños.
<b>H8-H9</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,889	50	B-1	Hay una grieta en el nodo H8 analizada anteriormente.
<b>A9-A10</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,889	45	B-1	

Fuente: Elaboración propia.

Continuación Tabla 4.2 Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Lechería.

Viga	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
<b>D9-D10</b>						No se pudo observar si tiene daños.
<b>H9-H10</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,838	15	B-1	
<b>A10-A11</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>D10-D11</b>						No se pudo observar si tiene daños.
<b>H10-H11</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,635	70	B-1	
<b>A11-A13</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>D11-D13</b>	G.H: inferior	desde D13	6	70	D	
	G.H: inferior	centro	3	25		
	G.H: inferior	desde D11	1,5	55		
<b>H11-H13</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>A13-B13</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>B13-D13</b>	G.H: inferior	desde B13	5	20	D	Presenta desprendimiento del

	G.H: inferior	desde B13	3,5	100		material en la cara inferior, posterior y frontal.
	G.H: posterior	centro	4	100		
<b>A13-A14</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,076	15	A-2	

Fuente: Elaboración propia.

Continuación Tabla 4.2 Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Lechería.

Viga	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
<b>B13-B14</b>	lateral derecha				E	Presenta desprendimiento del concreto en toda la longitud y se observa el acero de refuerzo corroído.
<b>A14-B14</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>A14-A15</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>B14-B15</b>	G.H: lateral izquierda	centro	1	25	E	Presenta desprendimiento del concreto en toda la longitud y se observa el acero de refuerzo corroído.
	G.H: lateral izquierda	hacia B15	0,889	44		
<b>A15-B15</b>	-----	-----	-----	-----	A-1	
<b>A15-A16</b>	G.H: lateral izquierda	centro	0,889	24	B-1	
<b>B15-B16</b>	lateral derecha				E	Presenta desprendimiento del concreto en toda la longitud y se observa el acero de refuerzo corroído.

<b>A16-B16</b>	posterior-frontal				E	Presenta muchas grietas horizontales y desprendimiento del material observándose el acero de refuerzo.
<b>A16-A18</b>					E	Se cayó por completo al derrumbarse el muro de fondo debido a un mar de leva.

Fuente: Elaboración propia



#### 4.1.4.3 Clasificación de los Daños en Losas

- **Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:** Sin daños.

- **Clasificación B. Daño Moderado:**

B-1: filtraciones

B-2: grietas en el recubrimiento.

- **Clasificación C. Daño Fuerte:**

C-1: desprendimiento del recubrimiento y desintegración de tabelones.

C-2: desprendimiento del recubrimiento, ruptura de los tabelones, humedad y corrosión.

- **Clasificación D. Daño Severo:** desprendimiento del concreto, ruptura de los tabelones, corrosión y desprendimiento del acero de refuerzo.

**NOTA:** los daños en las losas se evaluaron dividiéndolos en paños para facilitar la evaluación. (Anexo A, lámina E-1)

**Tabla 4.3** Cuadro de los Daños en Losas, vivienda ubicada en Lechería.

<b>Paño</b>	<b>Cara</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
1	inferior y superior	C-2	En la parte inferior presenta en el concreto de recubrimiento, ruptura de varios tabelones y corrosión de los perfiles de acero. En la cara superior se observa el desprendimiento de la capa de impermeabilización asfáltica.
2	inferior y superior	C-2	En la cara inferior presenta grandes grietas en el concreto que recorren los perfiles de acero y humedad en todo el paño con presencia de moho. En la parte superior no existe la capa de impermeabilización asfáltica.
3	inferior y superior	B-2	En la cara inferior presenta pequeñas grietas . En la cara superior se observa el levantamiento de la capa de impermeabilización.
4	inferior y superior	C-2	En la cara inferior presenta grandes grietas en el concreto que recubre los perfiles de acero y humedad en todo el paño con presencia de moho. En la parte superior no existe la capa de impermeabilización asfáltica.
5	inferior	B-2	Presenta una grieta de 45cm de longitud.
6		A	
7	inferior	B-1	Presenta una pequeña filtración.
8	-----	A	
9	-----	A	
10	-----	A	
11	inferior	B-1	Presenta un poco de filtración y moho.
12	-----	A	
13	-----	A	





14	inferior	B-2	Grietas en el recubrimiento.
15		A	
16	inferior	C-1	Desprendimiento del recubrimiento y desintegración de los tabelones.
17	inferior	D	Daños en un 95% del paño: desprendimiento del recubrimiento, ruptura de los tabelones y corrosión del acero, que en muchos casos ya se ha desprendido por completo.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5 Comparación de los Anchos de Fisuras con el Recomendado por la Norma ACI.

**Tabla 4.4** Comparación de los anchos de fisura encontrados en la vivienda ubicada en Lechería con los de la Norma ACI 224

Elemento	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Razonable según ACI 224 de acuerdo a la condición de exposición
		(0,15mm)
Columnas	(0,038 - 0,178)	Sin daño
	(0,229 - 1)	Daño leve
	(1,5 - 2)	Daño Moderado
	(3,3 - 5)	Daño Fuerte



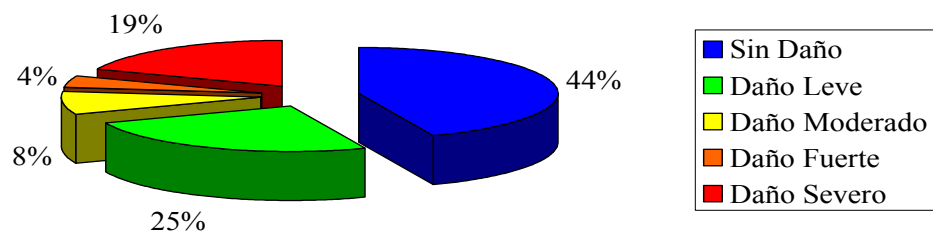
	(6 – 7)	Daño Severo
<b>Vigas</b>	(0,038 – 0,076)	Sin daño
	(0,438 – 0,889)	Daño leve
	(1 – 3)	Daño Moderado
	(4 – 6)	Daño Fuerte
<b>Losas</b>	(0,438 – 0,889)	Daño leve

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.6 Distribución Porcentual de los Daños Presentes en los Elementos Estructurales.

##### 4.1.6.1 Columnas

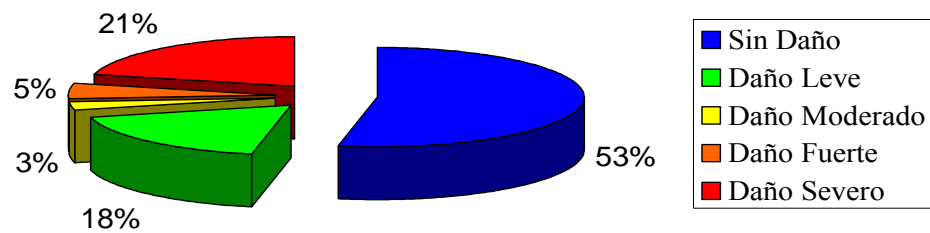
**Gráfica 4.1** Porcentajes de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Lechería





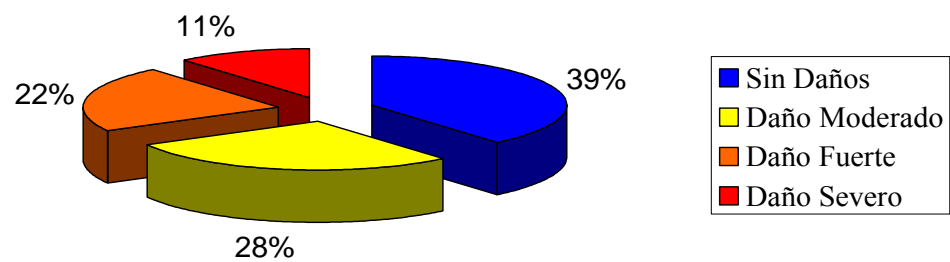
#### 4.1.6.2 Vigas

**Gráfica 4.2** Porcentajes de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Lechería.



#### 4.1.6.3 Losas

**Gráfica 4.3** Porcentajes de Daños en Losas, vivienda ubicada en Lechería.





En los diagramas se observa lo siguiente:

1. En las columnas la cantidad total de daños sobrepasa el 50%, teniendo grandes porcentajes los daños leves con 25% y los daños severos con un 19%.
2. En las vigas el total de daños representa un 47%, representado gran porcentaje los daños severos con 21% y los daños leves con un 18%.
3. En las losas la magnitud de los daños es casi un 60%, estando dividido en un 28% de daños moderados y un 33% entre daños fuertes-severos.

## **4.2 VIVIENDA EN PUERTO LA CRUZ**

Vivienda unifamiliar (figura 4.16), construida hace aproximadamente 20 años. En la actualidad esta vivienda presenta problemas estructurales, debido principalmente a que se encuentra en contacto con la atmósfera marina.

Los propietarios de la vivienda, no le han realizado reparaciones a la estructura, ya que en los últimos 2 años no ha estado habitada y resulta costoso mantenerla, por estas razones decidieron repararla y posteriormente ponerla en venta, por lo cual se evaluarán los daños estructurales para dar las recomendaciones de reparación respectivas.



**Fig. 4.16** Vivienda ubicada en Puerto La Cruz, construida en el año 1989.

#### **4.2.1 Descripción de la Estructura**

##### **4.2.1.1 Ubicación**

Esta vivienda se encuentra ubicada en el Sector Aldea de Pescadores de Puerto La Cruz, Municipio Sotillo Estado Anzoátegui, Calle N° 8, casa N° 42.

##### **4.2.1.2 Descripción de los Elementos Estructurales**

Vivienda unifamiliar de concreto armado de 1 nivel, con pórticos en ambas direcciones, conformada por columnas y vigas rectangulares, la losa de fundación esta sobre vigas de riostra poco profundas y la losa de techo es de tipo tabelón sin recubrimiento inferior, solo en la fachada.

## 4.2.2 Revisión del Proyecto Original

### 4.2.2.1 Planos

Los dueños de la vivienda no contaban con los planos de la misma y no pudieron ser localizadas en ningún organismo ya que fue construida sin la solicitud de los permisos de construcción. Por lo antes mencionado se procedió a realizar los planos de la vivienda. (Anexo B)

## 4.2.3 Descripción de los Daños en los Elementos

### 4.2.3.1 Daños en Columnas

- Grandes grietas en casi toda su longitud (figura 4.17).



**Fig. 4.17** Grietas longitudinales en columna.

- Desprendimiento del concreto (figura 4.18).



**Fig. 4.18** Desprendimiento del material en las columnas.

#### **4.2.3.2 Daños en Vigas.**

- Presencia de grandes grietas inclinadas y verticales que van desde la columna a la viga (figura 4.19).



**Fig. 4.19** Grietas inclinadas y verticales desde la columna a la viga.

#### 4.2.3.3 Daños en la Losa.

- Grietas en la losa y desprendimiento del recubrimiento (figura 4.20).



**Fig. 4.20** Losa agrietada.



- Ruptura de los tabelones que conforman la losa y corrosión del perfil metálico (figura 4.21).



**Fig. 4.21** Ruptura de los tabelones y corrosión del perfil metálico.

#### **4.2.4 Cuadros Clínicos de los Daños en los Elementos Estructurales.**

##### **4.2.4.1 Clasificación de los Daños en Columnas**

- **Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:** Sin daños
- **Clasificación B. Daño Leve:**

**B-1:** elementos con anchos de fisura entre 0,483 – 1mm.

**B-2:** elementos con anchos de fisura entre 0,483 – 1mm y desprendimiento del concreto.



- **Clasificación C. Daño Moderado:**

C-1: elementos que presentan anchos de fisura entre 1,1 – 3mm.

C-2: elementos que presentan anchos de fisura entre 1,1 – 3mm y desprendimiento del concreto.

- **Clasificación D. Daño Fuerte:**

D-1: elementos que presentan anchos de fisura entre 3,1 – 5mm

- **Clasificación E. Daño Severo:**

E-1: aquellos elementos con anchos de fisuras mayores a 5mm.

E-2: aquellos elementos con anchos de fisuras mayores a 5mm, desprendimiento del concreto y desgaste del acero de refuerzo.

**Tabla 4.5** Cuadros de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.

**Nota:** la vista establecida para identificar la cara fue perpendicular a los números.

G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales

Columna	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
A1	G.V: frontal- lateral derecha	inferior - centro	5	300	E-1	La grieta viene de la cara frontal pasa por toda la columna y va hacia la viga. La grieta superior baja hacia la viga.
	G.V: frontal	superior	4	100		
B1	G.V: lateral izquierda	superior	0,635	50	C-2	La grieta superior esta a 5cm del nodo. Las grietas frontales se unen y en la unión hay desprendimiento del concreto.
	G.V: frontal	centro	1,3	30		
	G.H: frontal	centro	0,889	25		
C1	G.V: lateral derecha	superior	0,889	47	D	El elemento presenta desprendimiento del material en la cara lateral derecha.
	G.V: lateral derecha	inferior	0,813	78		
	G.V: lateral izquierda	centro	4	200		
	G.V: frontal	centro	1	33		

<b>A2</b>	G.V: frontal	superior	0,559	14	B-1	
	G.V: lateral derecha	inferior	1	43		
<b>B2</b>	G.V: frontal	superior	0,483	58	B-1	
<b>C2</b>	G.H: lateral derecha	centro	0,686	31	B-1	La grieta pasa por toda la sección de la columna.

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.5** Cuadros de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.

Columna	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
A3	-----	-----	-----	-----	A	
B3	G.V: lateral izquierda	superior	0,889	82	B-1	La grieta empieza desde el nodo.
C3	G.V: lateral derecha	superior	1,2	36	C-1	Se encuentran a 15cm y 5cm del nodo respectivamente.
	G.V: lateral derecha	superior	0,508	29		
A4	-----	-----	-----	-----	A	
B4	-----	-----	-----	-----	A	
C4	G.V: lateral derecha	inferior	1	40	B-1	
A5	-----	-----	-----	-----	A	
B5	-----	-----	-----	-----	A	
C5	G.V: lateral izquierda	inferior	0,813	24	B-1	
	G.H: lateral derecha	centro	0,483	9		
A6	G.V: posterior	superior	0,889	30	B-2	Presenta desprendimiento del concreto en la parte

						superior.
<b>B6</b>	G.V: posterior	centro	5,2	64	E-2	Presenta desprendimiento del concreto en el centro y desgaste en el acero de refuerzo
	G.V: posterior	centro	1	72		
<b>C6</b>	G.V: posterior	inferior	2,5	54	C-2	Presenta desprendimiento del recubrimiento en la unión entre la cara lateral derecha y la posterior.

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.2.4.2 Clasificación de los Daños en Vigas

- Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:

**A-1:** Sin daños

**A-2:** representa aquellos elementos con fisuras casi imperceptibles de anchos hasta 0,038mm.

- **Clasificación B. Daño Leve:** aquellos elementos con anchos de fisura entre 0,2 – 1mm.
- **Clasificación C. Daño Moderado:** elementos que presentan anchos de fisura entre 1,1 – 3mm.
- **Clasificación D. Daño Fuerte:** elementos que presentan anchos de fisura entre 3,1 – 5mm

**Tabla 4.6** Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.

**Nota:** la vista establecida para identificar la cara fue perpendicular a los números.

G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales; G.I: Grietas inclinadas

Viga	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
A1-A''1	G.I: frontal	centro	5	38	D	La grieta inclinada viene desde la columna A1 y tiene una inclinación de 45° y sólo llega hasta el recubrimiento.
	G.V: frontal	en el nodo	2	25		
	G.V: lateral derecha	desde A1	5	21		
A1-B1	G.H: inferior	derecha	1	30	C	
	G.H: frontal	izquierda	0,889	110		
	G.H: frontal	izquierda	1,2	46		
B1-C1	G.H: frontal	izquierda	0,889	82	C	
	G.H: frontal	izquierda	0,457	35		
	G.H: posterior	centro	0,838	110		
	G.H: inferior	derecha	1,5	53		
A1-A2	G.H: lateral derecha	superior	0,889	100	B	
A2-B2	G.H: lateral izquierda	centro	1,2	85	C	



C1-C2	G.H: lateral derecha	centro	3,3	62	D	
A2-A3	-----	-----	-----	-----	A-1	
B2-B3	G.H: lateral izquierda	centro	0,152	55	A-2	
	G.H: lateral izquierda	hacia B2	0,038	34		

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.6** Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.

<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
C2-C3	G.V: lateral izquierda	hacia C2	4	35	D	
	G.H: lateral derecha	centro	0,889	110		
	G.H: lateral derecha	hacia C2	0,787	83		
A3-A4	-----	-----	-----	-----	A-1	
B3-B4	-----	-----	-----	-----	A-1	
C3-C4	G.H: lateral derecha	hacia C4	0,889	40	B	
A4-A5	-----	-----	-----	-----	A-1	
B4-B5	-----	-----	-----	-----	A-1	
C4-C5	G.H: lateral derecha	centro	0,889	100	B	
A5-B5	G.V: posterior	centro	0,686	30	B	
	G.H: posterior	izquierda	0,737	90		
	G.H: frontal	izquierda	0,559	110		
B5-C5	-----	-----	-----	-----	A-1	

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.6** Cuadros de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.

<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
A5-A6	G.H: superior	centro	0,889	110	C	
	G.H: lateral izquierda	centro	0,406	62		
	G.H: lateral izquierda	hacia A6	0,686	34		
	G.H: lateral derecha	centro	1,2	48		
A6-B6	G.H: posterior	centro	0,61	26	B	
	G.H: frontal	centro	0,889	100		
	G.H: frontal	hacia A6	0,737	57		
B6-C6	G.H: frontal	hacia C6	0,787	40	B	
	G.H: superior	centro	0,889	90		
C5-C6	G.H: lateral derecha	centro	1,3	115	C	
	G.H: lateral derecha	desde C5	0,889	92		
	G.H: lateral derecha	desde C5	0,381	43		
	G.H: lateral izquierda	centro	0,711	122		



#### 4.2.4.3 Clasificación de los Daños en Losas

- **Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:** Sin daños.
- **Clasificación B. Daño Moderado:** desintegración de tabelones y humedad.
- **Clasificación C. Daño Fuerte:**

**C-1:** ruptura de tabelones y humedad.

**C-2:** desprendimiento del recubrimiento y ruptura de los tabelones

**NOTA:** las losas se dividieron por paños para facilitar su inspección. (Anexo B, lámina E-1)

**Tabla 4.7** Cuadros de Daños en Losas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.

<b>Paño</b>	<b>Cara</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
1	inferior	C-2	Presenta agrietamientos en el material de recubrimiento del volado y desintegración de varios tabelones en el centro.
2	inferior	C-2	Presenta agrietamientos en el material de recubrimiento del volado y ruptura de varios tabelones hacia el lado derecho del paño.
3	inferior	A	
4	inferior	C-1	Ruptura de tabelones y se observa humedad.
5	inferior	B	Se observa humedad con un poco de desintegración en varios tabelones.
6	inferior	A	
7	inferior	B	Presenta humedad con un poco de desintegración en varios tabelones.
8	inferior	C-2	Presenta agrietamientos en el material de recubrimiento y ruptura de varios tabelones en el centro del paño.

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.5 Comparación de los anchos de fisuras con el recomendado por la Norma ACI.

**Tabla 4.8** Comparación de los anchos de fisura encontrados en la vivienda ubicada en Puerto la Cruz con los de la Norma ACI 224

Elemento	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Razonable según ACI 224 de acuerdo a la condición de exposición
		(0,15mm)
Columnas	(0,038 - 0,15)	Sin daño
	(0,483 – 1)	Daño leve
	(1,2 – 2,5)	Daño Moderado
	(3 – 4)	Daño Fuerte
	(5 - 6)	Daño Severo
Vigas	(0,038 – 0,152)	Sin daño
	(0,610 – 0,889)	Daño leve
	(1,2 – 1,5)	Daño Moderado
	(3,3 - 5)	Daño Fuerte



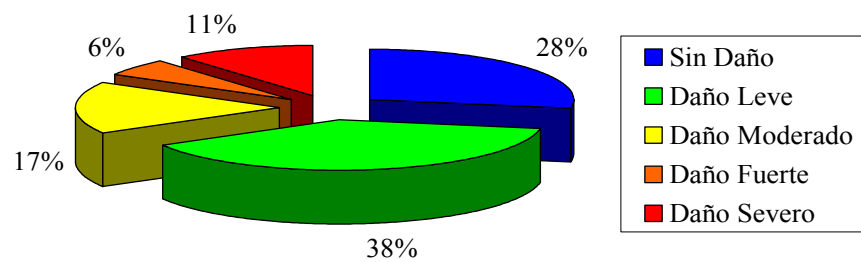
<b>Losas</b>	(0,889 – 2)	Daño Moderado
--------------	-------------	---------------

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6 Distribución Porcentual de los Daños Presentes en los Elementos Estructurales.

##### 4.2.6.1 Columnas

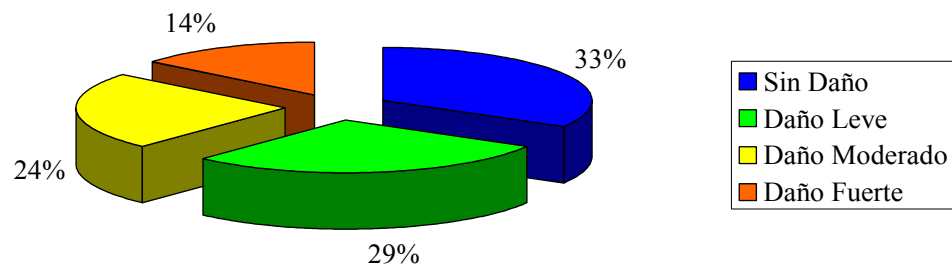
**Gráfica 4.4** Porcentajes de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz.





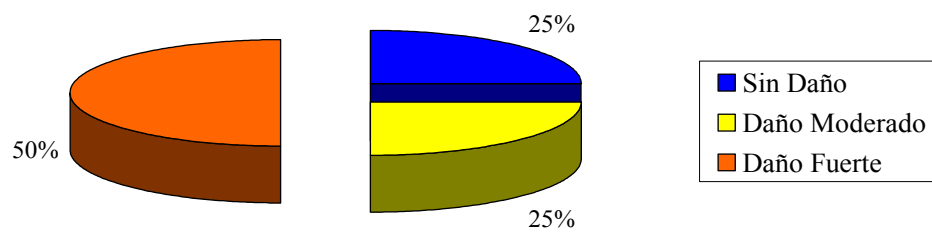
#### 4.2.6.2 Vigas

**Gráfica 4.5** Porcentajes de Daños en Vigas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz



#### 4.2.6.3 Losas

**Gráfica 4.6** Porcentajes de Daños en Losas, vivienda ubicada en Puerto la Cruz



En los diagramas se observa lo siguiente:

1. El porcentaje de daños en las columnas es de casi el 70%, siendo el daño leve el predominante con un 38%.





2. Las vigas no presentan daños severos, pero predominan los daños leves y moderados con un 29 y 24% respectivamente.
3. El daño en las losas es de un 75%, los cuales no presentan daños severos pero los daños fuertes se presentan en un 50%.

### **4.3 VIVIENDA UBICADA EN GUANTA i**

Vivienda multifamiliar (figura 4.22), construida hace 20 años. Pertenece a dos familias extranjeras los cuales la usan para vacacionar. Actualmente presenta problemas estructurales, ya la vivienda presenta grietas en varios elementos estructurales.

Por lo antes mencionado es de gran urgencia para los propietarios de la vivienda repararla, ya que la consideran una vivienda insegura. A continuación se evaluarán los daños estructurales para determinar el estado de la estructura y su posible reparación.



**Fig. 4.22** Fachada de vivienda ubicada en Guanta, construida hace aproximadamente 20 años

### **4.3.1 Descripción de la Estructura**

#### **4.3.1.1 Ubicación**

Esta vivienda se encuentra ubicada en el Sector Volcadero de Guanta, Municipio Guanta Estado Anzoátegui, en la Calle Principal, Casa N° 18.

#### **4.3.1.2 Descripción de los Elementos Estructurales**

Vivienda multifamiliar de concreto armado de 2 niveles, con pórticos en ambas direcciones, conformada por columnas y vigas rectangulares, con fundaciones profundas, losa de entrepiso maciza y losa de techo maciza en dos aguas. El muro de contención y la planta baja de la vivienda del lado derecho, son de mampostería en los elementos no estructurales.

### 4.3.2 Revisión del Proyecto Original

#### 4.3.2.1 Planos

No fue posible obtener los planos de la vivienda por lo cual se procedió a realizarlos. (Anexo C)

### 4.3.3 Descripción de los Daños de los Elementos

#### 4.3.3.1 Daños en Columnas

- Grietas de gran espesor en las columnas (figura 4.23).



**Fig. 4.23** Grietas de gran espesor en la columna.

- Grietas en el nodo que llegan hasta la viga (figura 4.24).



**Fig. 4.24** Grietas en el nodo.

Desprendimiento del recubrimiento y exposición de cabillas corroídas (figura 4.25).



**Fig. 4.25** Exposición de cabillas corroídas en la columna del muro.

#### 4.3.3.2 Daños en Vigas.

- Grietas en la viga (figura 4.26).



**Fig. 4.26** Grietas en la viga

- Exposición del acero de refuerzo corroído en la viga del muro de contención (figura 4.27).



**Fig. 4.27** Corrosión en las barras de refuerzo.

- Grietas que van desde la viga hasta la losa (figura 4.28).



**Fig. 4.28** Grietas en la viga que llegan hasta la losa.

#### 4.3.3.3 Daños en Losas

- Grietas en la losa (figura 4.29 y 4.30).



**Fig. 4.29** Grietas en la losa de entrepiso.



**Fig. 4.30** Grietas en la losa de piso.



#### 4.3.4. Cuadros Clínicos de los Daños en los Elementos Estructurales.

##### 4.3.4.1 Clasificación de los Daños en Columnas

- **Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:**

A-1: Sin daños

A-2: representa aquellos elementos con fisuras casi imperceptibles de anchos hasta 0,2mm.

- **Clasificación B. Daño Leve:** aquellos elementos con anchos de fisura entre 0,21 – 1mm.
- **Clasificación C. Daño Moderado:** elementos que presentan anchos de fisura entre 1,1 – 3mm.
- **Clasificación D. Daño Fuerte:** elementos que presentan anchos de fisura entre 3,1 – 5mm
- **Clasificación E. Daño Severo:**

E-1: representa a aquellos elementos con anchos de fisuras mayores a 5,1mm.

E-2: los elementos que presenten desprendimiento del concreto y desgaste del acero de refuerzo.



**Tabla 4.9** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Guanta.

**Nota:** la vista establecida para identificar la cara fue perpendicular a los números.

G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales

Nivel	Columna	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
PB	B1	G.V: posterior	centro	0,889	32	B	
PB	C1					A-1	
PB	D1					A-1	
PB	E1	G.V: lateral izquierda	inferior	0,406	48	B	
PB	A2					A-1	
PB	B2					A-1	
PB	C2					A-1	
PB	D2					A-1	
PB	E2	G.H: lateral derecha	superior	1	67	B	
		G.H: lateral	centro	0,254	33		

		derecha					
PB	A3					A-1	
PB	B3	G.V: posterior	superior	0,127	30	B	
		G.V: posterior	superior	0,457	10		
		G.V: posterior	centro	0,483	14		

Fuente: Elaboración propia

**Continuación Tabla 4.9** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Guanta.

Nivel	Columna	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
PB	C3	G.I: posterior	superior	0,508	19	B	
PB	D3	G.V: posterior	superior	0,838	48	B	
		G.I: posterior	centro	0,406	26		
PB	E3	G.V: posterior	toda la longitud	7,5	100	E-1	
		G.V: posterior	centro	1	55		
PB	F4					A-1	
PB	B5	G.H: frontal	en el nodo	0,151	25	A-2	La grieta ubicada en el nodo recorre toda la sección de la columna.
PB	C5	G.H: frontal	en el nodo	0,127	25	A-2	La grieta ubicada en el nodo recorre toda la sección de la columna.
		G.V: posterior	centro	0,178	34		
PB	D5	G.H: frontal-lateral derecha	en el nodo	0,356	50	B	La grieta horizontal ubicada en el nodo recorre toda la cara frontal hasta la lateral derecha.
		G.V: frontal	centro	0,635	61		

PB	E5	G.H: frontal	en el nodo	0,787	72	B	Esta grieta recorre la sección de la columna sube hasta la viga y llega a la losa de entrepiso.
----	----	--------------	------------	-------	----	---	---

Fuente: Elaboración propia

**Continuación Tabla 4.9** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Guanta.

Nivel	Columna	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
PB	F5	G.V: lateral derecha	centro	2	70	C	
1	B1	G.I: frontal	superior	0,102	22	A-2	La grieta tiene 20° de inclinación y esta a 17cm del nodo.
1	C1					A-1	
1	D1					A-1	
1	E1	G.V: lateral derecha	superior	0,279	47	B	Esta a 10cm del nodo.
1	B2					A-1	
1	C2					A-1	
1	D2					A-1	
1	E2					A-1	
1	B3					A-1	
1	C3	G.I: posterior	superior	0,102	17	A-2	La grieta tiene una inclinación de 24° y

		G.V: posterior	centro	0,051	43		está a 20cm del nodo.
--	--	----------------	--------	-------	----	--	-----------------------

Fuente: Elaboración propia

**Continuación Tabla 4.9** Cuadro de Daños en Columnas, vivienda ubicada en Guanta.

<b>Nivel</b>	<b>Columna</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
1	D3	G.V: posterior	superior	0,152	23	A-2	La grieta superior está a 12cm del nodo
		G.V: posterior	centro	0,203	33		
1	E3					A-1	
1	B4	G.V: lateral derecha	inferior	0,305	28	B	
1	C4					A-1	
1	D4					A-1	
1	E4					A-1	
	Muro F4	G.V: lateral derecha	inferior	0,04	28	B	
	Muro F5					A-1	
	Muro A6	posterior y lateral derecha	toda la longitud			E-2	Presenta desintegración avanzada de la masa del concreto en toda la longitud a causa de la corrosión que presentan las

							armaduras que están visibles.
	Muro C'6	posterior	toda la sección			E-2	En la parte inferior de la columna presenta desprendimiento del concreto quedando visible al acero de refuerzo corroído.
	Muro E6	posterior	inferior y superior			E-2	Presenta desintegración del concreto con visibilidad del acero de refuerzo corroído.

Fuente: Elaboración propia





#### 4.3.4.2 Clasificación de los Daños en Vigas

- **Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:**

**A-1:** Sin daños

**A-2:** representa aquellos elementos con fisuras casi imperceptibles de anchos entre 0,038 – 0,2mm.

- **Clasificación B. Daño Leve:** aquellos elementos con anchos de fisura entre 0,21 – 0,9mm.
- **Clasificación C. Daño Moderado:** elementos que presentan anchos de fisura entre 1 – 3mm.
- **Clasificación D. Daño Fuerte:** elementos que presenten desintegración del concreto.
- **Clasificación E. Daño Severo:** elementos que presenten desintegración del concreto y corrosión en las armaduras de refuerzo

**Tabla 4.10** Cuadro de los Daños en Vigas, vivienda ubicada en Guanta.

**Nota:** la vista establecida para identificar la cara fue perpendicular a los números.

G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales; G.I: grietas inclinadas

Nivel	Viga	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
PB	A'1-C1					A-1	
PB	C1-D1					A-1	
PB	D1-E'1	G.I: posterior-lateral derecha	inferior-superior	3	42	C	La grieta tiene una inclinación de 30°, y empieza desde la cara lateral derecha siguiendo hasta la posterior.
PB	B1-B2					A-1	
PB	C1-C2					A-1	
PB	D1-D2					A-1	
PB	E1-E2					A-1	
PB	A'2-C2	G.H: posterior	superior	0,533	50	B	La grieta esta en el volado hacia el eje A'2 y sube hasta la losa.
PB	C2-D2					A-1	

<b>PB</b>	D2-E'2					A-1	
<b>PB</b>	B2-B3					A-1	

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.10** Cuadro de los Daños en Vigas, vivienda ubicada en Guanta.

<b>Nivel</b>	<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>PB</b>	C2-C3					A-1	
<b>PB</b>	D2-D3					A-1	
<b>PB</b>	E2-E3	G.I: lateral derecha	centro	0,038	19	A-2	La grieta presenta una inclinación de 18°.
<b>PB</b>	A'3-C3	G.V: lateral derecha		0,61	68	B	Esta grieta comienza en la parte inferior de la viga sube hasta recorrer toda su sección y pasa por la pared hacia la losa.
<b>PB</b>	C3-D3					A-1	
<b>PB</b>	D3-E'3	G.V: frontal	toda la sección	0,483	56	B	La grieta esta ubicada en el volado, es decir, hacia E'3. Recorre la sección de la viga y sube hacia la losa.
<b>PB</b>	B3-B5	G.H: frontal	en el nodo	0,151	25	A-2	
<b>PB</b>	C3-C'5	G.H: frontal	en el nodo	0,127	25	A-2	
<b>PB</b>	D3-D'5					A-1	

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.10** Cuadro de los Daños en Vigas, vivienda ubicada en Guanta.

<b>Nivel</b>	<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
<b>PB</b>	E3-E5'	G.V: frontal	en el nodo	0,787	72	B	Esta grieta recorre la sección de la columna sube hasta la viga y llega a la losa de entrepiso
<b>PB</b>	A'5-C5					A-1	
<b>PB</b>	C5-D5	G.H: frontal- lateral derecha	en el nodo	0,356	50	B	
<b>PB</b>	D5-E'5	G.V: frontal	en el nodo	0,787	72	B	Esta grieta recorre la sección de la columna sube hasta la viga y llega a la losa de entrepiso
<b>1</b>	A'1-C1					A-1	
<b>1</b>	C1-D1					A-1	
<b>1</b>	D1-E'1					A-1	
<b>1</b>	B1-B2	G.H: lateral izquierda	hacia B2	0,229	43	B	

		G.H: lateral izquierda	centro	0,152	60		
<b>1</b>	C1-C2					A-1	
<b>1</b>	D1-D2					A-1	
<b>1</b>	E1-E2					A-1	

Fuente: Elaboración propia.

**Continuación Tabla 4.10** Cuadro de los Daños en Vigas, vivienda ubicada en Guanta.

<b>Nivel</b>	<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
1	A'2-C2					A-1	
1	C2-D2					A-1	
1	D2-E'2	G.H: posterior	superior	0,66	45	B	La grieta se encuentra en el volado, es decir, hacia E'2.
1	B2-B3					A-1	
1	C2-C3					A-1	
1	D2-D3					A-1	
1	E2-E3					A-1	
1	A'3-C3					A-1	
1	C3-D3	G.H: posterior	superior	0,203	200	A-2	La grieta se encuentra ubicada en la unión entre la viga y la losa.
1	D3-E'3					A-1	
1	B3-B5					A-1	
1	C3-C5					A-1	

1	D3-D'5					A-1	
---	--------	--	--	--	--	-----	--

Fuente: Elaboración propia.



**Continuación Tabla 4.10** Cuadro de los Daños en Vigas, vivienda ubicada en Guanta.

<b>Nivel</b>	<b>Viga</b>	<b>Cara</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Daño</b>	<b>Observaciones</b>
1	E3-E5'	G.H: lateral izquierda	centro	0,076	115	A-2	
1	A'5-C5					A-1	
1	C5-D5					A-1	
1	D5-E'5					A-1	
	Muro A'6-C6					E	Esta viga presenta desintegración del concreto y desgaste del acero de refuerzo.
	Muro C'6-E6		centro		35	D-2	La viga presenta en el centro desintegración del concreto a causa de la corrosión que presentan las armaduras.
	Muro E6-F5	G.H: posterior	toda la sección			C	
	Muro F5-F4		toda la longitud			D-1	Presenta manchas blanquecinas y desintegración del concreto.

	Muro F4-E3		hacia F4			D-1	Presenta desintegración de la masa de concreto.
--	---------------	--	----------	--	--	-----	--

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.2.4.3 Clasificación de los Daños en Losas

- **Clasificación A. Sin Daño/ muy leve:** Sin daños.
- **Clasificación B. Daño Moderado:** Pequeñas grietas.
- **Clasificación C. Daño Fuerte:** Grietas de gran tamaño.

**NOTA:** losas se dividieron por paños para facilitar la inspección (Anexo C, láminas E-1, E-2)

**Tabla 4.11** Cuadro de Daños en Losas, vivienda ubicada en Guanta

Nivel	Paño	Cara	Daño	Observaciones
PB	1		A	
PB	2		A	
PB	3		A	
PB	4		A	
PB	5		A	
PB	6		A	
PB	7		A	
PB	8		A	
PB	9-10	superior		Presenta una grieta desde la columna E3 hasta la columna E5, que divide el paño 9 y 10. Su espesor es de 4 mm con más de 5cm de profundidad.
PB	11	superior-inferior		Este paño presenta agrietamientos.
PB	12			Este paño presenta grandes grietas en la parte superior de entre 1-3mm. Pero la más grave es la ubicada entre las columnas D5 y E5 que ocupa toda la distancia entre ellas separando por completo el paño 12 del 9 y su espesor esta entre 3 - 5cm
entrepiso	1		A	
entrepiso	2		A	
entrepiso	3		A	
entrepiso	4		A	
entrepiso	5		A	
entrepiso	6		B	Presenta una pequeña grieta de 0,457mm de espesor y 34 cm de longitud. También presenta grietas en los bordes.
entrepiso	7-8-9		B	Estos paños presentan pequeñas grietas en



				los bordes
techo	1		A	
techo	2		A	
techo	3		B	Presenta tres grietas pequeñas de espesor entre 0,038-0,051
techo	4		A	
techo	5		B	Presenta una grieta de 0,038mm, 40cm de longitud y 25° de inclinación.
techo	6		A	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.5 Comparación de los Anchos de Fisuras con el Recomendado por la Norma ACI.

**Tabla 4.12** Comparación de los anchos de fisura encontrados en la vivienda ubicada en Guanta con los de la Norma ACI 224

Elemento	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Razonable según ACI 224 de acuerdo a la condición de exposición
		(0,15mm)
Columnas	(0,127 - 0,178)	Sin daño
	(0,279 - 0,889)	Daño leve
	(1 - 2)	Daño Moderado
	(7,5)	Daño Severo



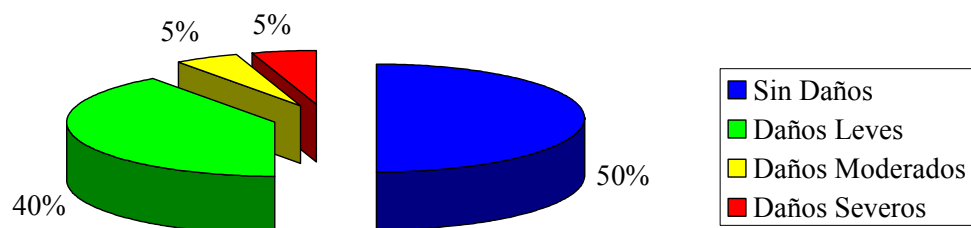
<b>Vigas</b>	(0,038 – 0,178 )	Sin daño
	(0,21– 0,889)	Daño leve
	(1– 3)	Daño Moderado
<b>Losas</b>	(0,038 – 0,457)	Daño leve
	(4 - 50)	Daño Severo

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.6 Distribución Porcentual de los Daños Presentes en los Elementos Estructurales.

##### 4.3.6.1 Columnas (Planta Baja)

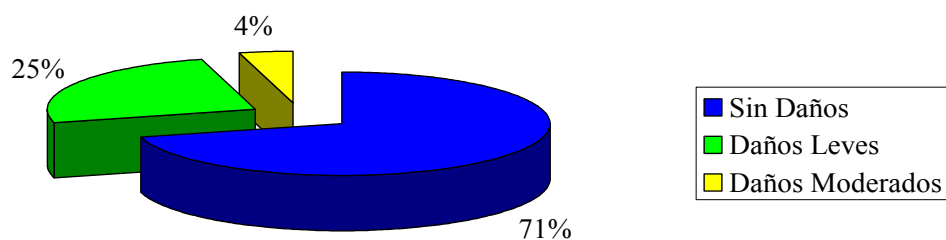
**Gráfica 4.7** Porcentajes de Daños en Columnas (Planta Baja), vivienda ubicada en Guanta.





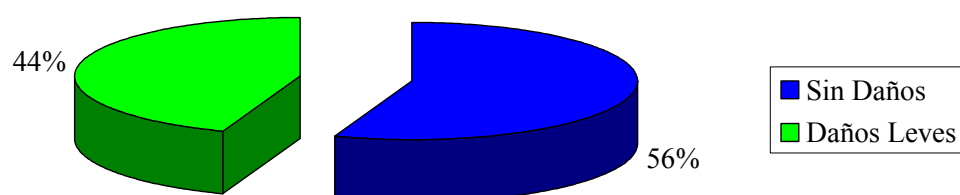
#### 4.3.6.2 Vigas (Planta Baja)

**Gráfica 4.8** Porcentajes de Daños en Vigas (Planta Baja), vivienda ubicada en Guanta.



#### 4.3.6.3 Losas (Entrepiso)

**Gráfica 4.9** Porcentajes de Daños en Losa (Entrepiso), vivienda ubicada en Guanta.



En los gráficos se puede observar lo siguiente:

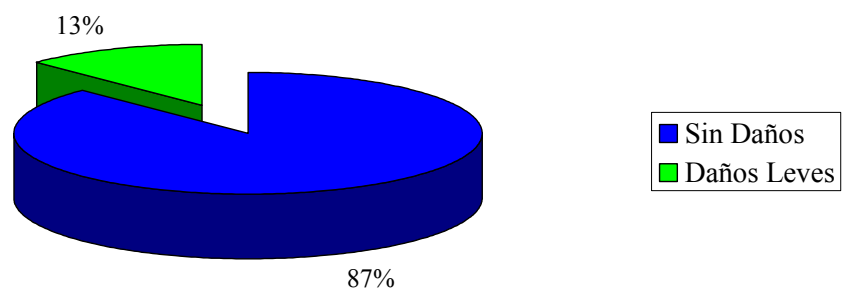
1. Los daños en las columnas de la planta baja son del 50%, predominando los daños leves con un 40%.



2. Las vigas de la planta baja, solo presentaron un 29% de daños de los cuales un 25% eran daños leves y no encontraron daños fuertes o severos.
3. Los daños que se observaron en las losas de entrepiso sólo fueron leves y representaron un 44%.

#### 4.3.6.4 Columnas (Nivel 1)

**Gráfica 4.10** Porcentajes de Daños en Columnas (Nivel 1), vivienda ubicada en Guanta.

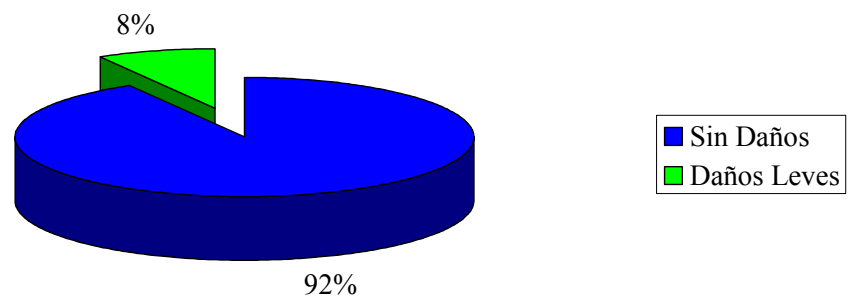






#### 4.3.6.5 Vigas (Nivel 1)

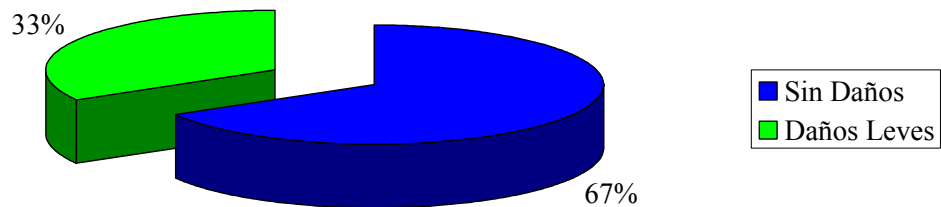
**Gráfica 4.11** Porcentaje de Daños en Vigas (Nivel 1), vivienda ubicada en Guanta.





#### 4.3.6.6 Losas (Techo)

**Gráfica 4.12** Porcentajes de Daños en Losas (Techo), vivienda ubicada en Guanta.



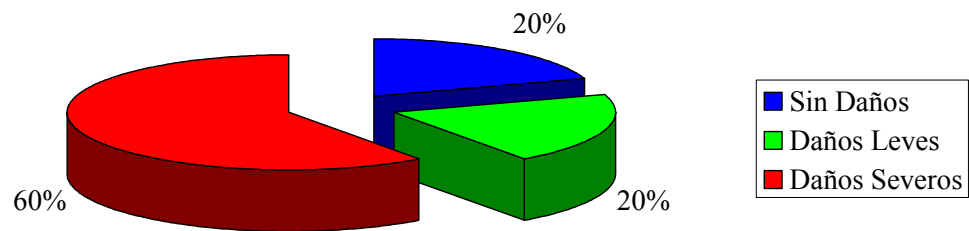
En los gráficos se puede observar:

1. Las columnas del nivel 1 solo presentan daños leves que representan el 13% de la totalidad de las mismas.
2. Los daños en las vigas también fueron leves y de menor porcentaje representando el 8%.
3. Del mismo modo en las losas de techo se registraron daños leves que representan el 33%.



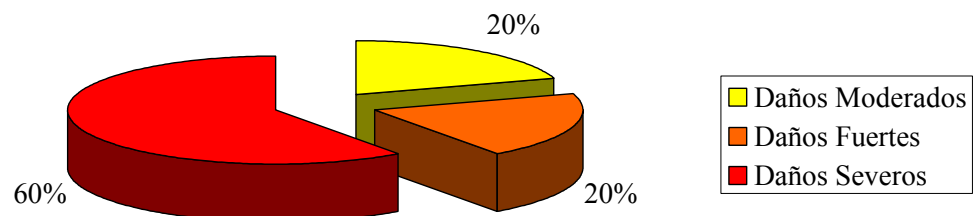
#### 4.3.6.7 Columnas (Muro)

**Gráfica 4.13** Porcentaje de Daños en las Columnas del Muro, vivienda ubicada en Guanta.



#### 4.3.6.8 Vigas (Muro)

**Gráfica 4.14** Porcentajes de Daños en las Vigas del Muro, vivienda ubicada en Guanta





En las graficas se puede observar que:

1. Las columnas presentan un 80% de daños, de los cuales el 60% es de daños severos.
2. Todas las vigas presentan daños predominando los daños severos con el 60%

#### **4.4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

Luego de realizar la evaluación de daños en las estructuras y en vista de sus deterioros, se hizo una caracterización del medio ambiente en el cual se encuentran, para lo cual fue necesario acudir a la Estación Meteorológica Aeronáutica 419, ubicada en el Aeropuerto Internacional de Barcelona.

Se obtuvieron datos de humedad y temperatura de la Conurbación Barcelona, Lechería, Puerto La Cruz y Guanta en un periodo de 11 años. Estos datos (ver Anexo D) se promediaron en la Tabla 4.1.



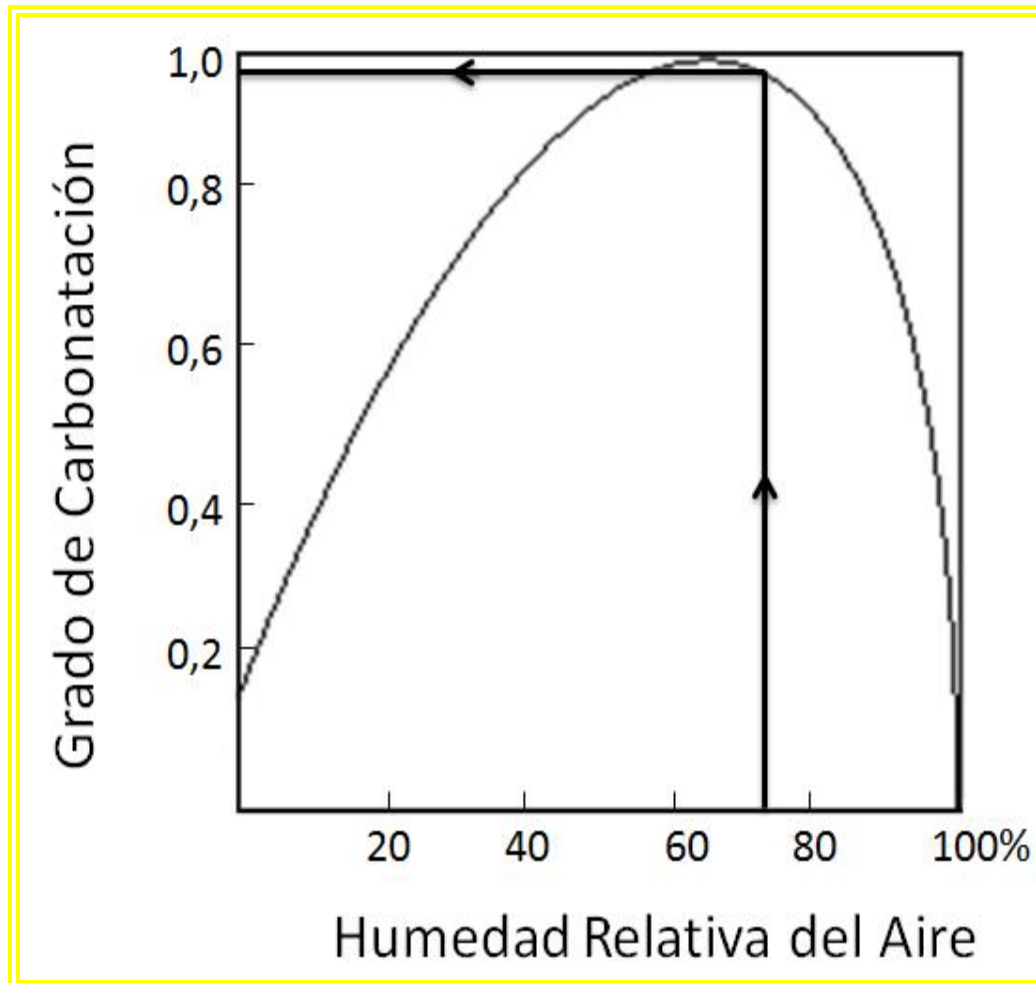
**Tabla 4.13** Promedios de humedad y temperatura entre los años 1998-2008 en la Conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta.

<b>Meses</b>	<b>Temperatura Media (°C)</b>	<b>Humedad Media (%)</b>
<b>Enero</b>	26,76	76,18
<b>Febrero</b>	26,84	73
<b>Marzo</b>	27,31	72,18
<b>Abril</b>	28,16	74,27
<b>Mayo</b>	28,24	73,82
<b>Junio</b>	26,76	78,45
<b>Julio</b>	26,45	80,82
<b>Agosto</b>	26,82	79,55
<b>Septiembre</b>	27,20	77,91
<b>Octubre</b>	27,40	76,91
<b>Noviembre</b>	27,46	75,73
<b>Diciembre</b>	27,03	74,45

En la tabla anterior se puede observar que el clima predominante en dicha conurbación posee una alta humedad entre los meses Junio – Agosto con un promedio de 77% para estos meses. Conociendo este valor se procedió a determinar la incidencia de esta sobre las estructuras para lo que se utilizó la Grafica 4.1 a través de la cual se puede predecir el índice de carbonatación que puede presentar el concreto ubicado dentro de ciertos parámetros de humedad.



**Grafica 4.14** Carbonatación del concreto en función de la humedad. (Verbeck)



De acuerdo a la Grafica se puede observar que el grado de carbonatación a la cual se encuentra expuesta el concreto es de un 97 % para la muestra estudiada.



## **4.5 COMPARACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON CONCRETO ARMADO EN ZONA COSTERA Y ZONA NO COSTERA**

En la construcción con concreto armado es de gran importancia tomar en cuenta en ambiente en el cual se está construyendo, ya que va a condicionar algunos aspectos de la misma.

La agresividad o ataque químico del ambiente puede afectar a las estructuras que están en contacto con él, en mayor o menor medida, afectando su durabilidad y por ende su resistencia y estabilidad a lo largo del tiempo.

La agresividad en ambiente marino se debe principalmente a las sales disueltas en el agua de mar (cloruro sódico, cloruro magnésico, sulfato cálcico, sulfato magnésico, cloruro potásico, sulfato potásico y bicarbonato cálcico), estas en muchos casos producen desagregación del concreto y corrosión de las armaduras con pérdida de sección en las barras principales.

Para evitar el ataque de los ambientes agresivos al concreto armado se deberán tomar las medidas adecuadas desde el diseño de mezcla hasta el curado de los elementos.

A continuación se presentaran los factores que hay que tomar en cuenta al momento de construir en una zona costera:



- **Relación  $\alpha$ : agua/ cemento**

Esta relación se determina en función de los requisitos de resistencia y a la vez condiciona la durabilidad del concreto, por lo cual debe ser tomado en cuenta al momento de diseñar la mezcla.

La Norma COVENIN 1753-2006 determina que para concreto estructural en contacto o rociado por agua de mar o salobres se deben cumplir los requisitos de la Tabla 4.3.1 (reproducidos aquí como tabla 4.14)



**Tabla 4.15** Requisitos para condiciones de estanqueidad.

Condiciones de Exposición	Concreto con agregado de peso normal o agregado liviano	
	Máxima relación agua/cemento ( $\alpha$ ) por peso	Minima resistencia del concreto a compresión $f_c$ , Kgf/cm <sup>2</sup>
Concreto destinado a ser estanco:	0,50	260
a. Concreto expuesto a agua dulce.	0,45	300
b. Concreto expuesto a agua salobre o de mar		
Para protección contra la corrosión de concreto reforzado en contacto o rociado por aguas salobres o aguas de mar.	0,40 <sup>1</sup>	350 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cuando el recubrimiento mínimo requerido por la sección 7.2.4 se incrementa en 1cm, la relación agua/cemento puede aumentarse a 0,45 para concreto de agregado de peso normal, o reducir  $f_c$  a 300 Kgf/cm<sup>2</sup> para los concretos con agregados livianos.

En la tabla 4.14 se puede observar la variación de la relación agua/cemento ( $\alpha$ ) de acuerdo a la exposición del concreto a agua dulce o agua de mar, para lo cual este factor disminuye si se trata de construcciones de concreto armado en contacto o rociado por aguas de mar.



Esta relación se determina en función de los requisitos de resistencia y condiciona la durabilidad del concreto, pero cuando se diseña para ambientes agresivos debe predominar la durabilidad utilizando el valor más bajo recomendado, no siendo esto una garantía de que el concreto resultante sea resistente o duradero, ya que hay otros factores que intervienen tales como: la buena colocación y compactación, el curado, etc.

- **Exposición a Sulfatos**

Si el concreto va a estar expuesto a soluciones que contienen sulfatos se debe cumplir con los requerimientos de la Norma COVENIN 1753-2006 según la tabla 4.3.2 (aquí tabla 4.15)

**Tabla 4.15** Requerimientos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos

Exposición a sulfatos	Concentración de sulfato como SO <sub>4</sub>		Tipo de cemento (1)	Concreto con agregado de peso normal	Concreto con agregado liviano
	En suelos % en peso	En solución, partes por millón (ppm)		Valor máximo de la relación agua/cemento por peso (4)	Minima resistencia a la compresión f <sub>c</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> ) (4)
Despreciable	0,00-0,10	0-150	--	--	--



Moderada (2)	0,10-0,20	150-1500	II, IP (Ms) IS (Ms)	0,50	260
Severa	0,20-2,00	1500-10000	V	0,45	300
Muy severa	Más de 2,00	Más de 10000	V con puzolana (3)	0,45	300

(1) IP = Tipo Pórtland I; IS = Tipo I Portland – escoria; II =Tipo II; V. La designación Ms se emplea en cementos ASTM C 595 cuando se trata de exposiciones moderadas a los sulfatos.

(2) Agua de mar.

(3) Previamente debe comprobarse, que con este tipo de cemento la puzolana mejora la resistencia a sulfatos por medio de ensayos o por comportamiento satisfactorio en servicio.

(4) para la estanqueidad o protección contra la corrosión puede requerirse una relación agua/cemento menor o una resistencia mayor. (Véase Tabla 4.3)

Cuando además de esta sección deba satisfacer la sección 4.3, se empleara el menor valor de la relación agua/cemento y el mayor valor de la resistencia mínima.

Al construir en atmosfera marina la exposición a sulfatos es mayor ya que este es uno de los principales componentes del agua de mar y de acuerdo a la concentración del mismo se debe elegir el tipo de cemento adecuado.

El Cemento Portland Tipo II, posee una moderada resistencia a los sulfatos ya que disminuye el contenido de aluminato tricálcico y del silicato tricálcico, a diferencia del Cemento Portland Tipo V, que posee muy alta resistencia a los sulfatos, en el cual el contenido de aluminato tricálcico disminuye muchísimo más, porque este componente posee una gran sensibilidad a dicho químico agresivo.

El Cemento Portland Tipo I con Escoria desarrolla una gran resistencia durante largo tiempo, ofreciendo una mayor durabilidad y menor permeabilidad a los iones cloruros, en cambio el Cemento Portland Tipo V con Puzolana posee resistencia al ataque de los sulfatos y agua de mar, moderado o bajo calor de hidratación, baja contracción térmica y buena trabajabilidad.



Es de gran importancia estar al tanto de que los cementos con resistencia a los sulfatos ofrecen escasa defensa al paso de los iones cloruros, desprotegiendo el refuerzo metálico.

- **Protección contra la Corrosión**

Esta se tomara en cuenta de acuerdo a la cantidad del ion cloruro ( $Cl^-$ ) soluble en agua, contenidas en el concreto, a una edad de 28 a 42 días, provenientes del agua, los cemento y los aditivos no debe exceder los limites, en porcentaje por peso de cemento, que se especifican en la Tabla 4.4 de la Norma COVENIN 1753-2006 (aquí Tabla 4.16).

**Tabla 4.16** Máximo contenido del ion cloruro, para protección contra la corrosión del acero de refuerzo.

<b>Tipo de Miembro</b>	<b>Máximo contenido de ion cloruro (<math>Cl^-</math>) en el concreto, expresado como porcentaje del peso del cemento (%)</b>
Concreto reforzado en condiciones de servicio expuesto al Ion cloruro.	0,15
Concreto reforzado en condiciones de servicio que este seco o protegido contra la humedad	1,00
Otras construcciones de concreto reforzado.	0,30



El concreto puede soportar la presencia interna de cloruro en pequeñas proporciones (las señaladas en la tabla 4.16), pero cuando estas se sobrepasan se presenta la corrosión por cloruros internos, la cual puede tener tanta fuerza hasta llegar a romper o desintegrar los elementos del concreto, por esta razón a la hora de construir es importante tomar las precauciones necesarias y realizar los ensayos respectivos a los componentes del concreto.

- **Recubrimientos mínimos del Acero de Refuerzo**

Una de las precauciones más eficaz para evitar la corrosión del acero de refuerzo, aparte de un buen manejo de la relación agua/cemento, es un recubrimiento de espesor apropiado al tipo de zona en la que se va a construir, para que de esta manera sirva de protección al acero.

En la Tabla 7.2.4 (aquí Tabla 4.17) de la Norma COVENIN 1753-2006 se muestran los recubrimientos mínimos que se deben usar en piezas de concreto vaciadas en sitio de acuerdo a las características del ambiente y el diámetro del acero de refuerzo.

**Tabla 4.17** Recubrimientos Mínimos.

Características del Ambiente	Diámetro del Acero de Refuerzo, db	Recubrimiento mínimo, cm			
		Vigas y Columnas	Losas y Placas	Muros	Cáscaras y Placas plegadas
Piezas al abrigo de la intemperie	db ≥ N° 5 (16M) y alambres con db < 16mm			2,0	1,5



	N° 6 a N° 11 (20M a 36M)	4,0		2,0
	N° 14 y N° 18 (40M y mayor)		4,0	
Piezas expuesta A la intemperie en ambientes no agresivos	$db \leq N^{\circ} 5$ (16M) y alambres con $db > 16\text{mm}$	4,0		
	$db > N^{\circ} 6$ (20M)	5,0		
Piezas vaciadas sobre el terreno y en permanente contacto con el mismo.	Todos los diámetros	7,5	No aplica	

Es de gran importancia notar que la tabla 4.5 no hace mención a un ambiente marino, por esta razón, los diámetros mínimos para ambientes agresivos deben ser mayores a los de la tabla dependiendo de la agresividad del ambiente y del contacto de cada elemento estructural con el mismo.

Si el concreto va a estar en contacto directo con el agua de mar o expuesto al rociado de la misma, el cemento debe dosificarse de manera tal que satisfaga los requisitos de exposición a dichas condiciones, ya que este influye con la densidad del concreto, al igual que se debe tomar en cuenta la relación agua/cemento de acuerdo al tipo de exposición.

## **CAPÍTULO V**

### **DIAGNÓSTICO DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES**

#### **5.1 ESTADO DE DAÑOS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

Luego de la observación minuciosa de los elementos estructurales dañados en cada una de las estructuras en estudio, se procedió a analizar el estado de las mismas el cual se presenta a continuación:

##### **5.1.1 Vivienda en Lechería**

1. Al evaluar los espesores se observó que muchos elementos presentaban fisuras que sobrepasaron el ancho razonable para ambiente agresivo según ACI 224, facilitando esto el ataque al acero de refuerzo, ocasionando reducción de la sección, pérdida de resistencia y generalizando progresivamente el proceso corrosivo.
2. El recubrimiento que presentaban los elementos estructurales era de 1,5cm, facilitando esto la penetración de agentes agresivos presentes en la zona, ocasionando la carbonatación del concreto y corrosión del acero.
3. Las grietas que se presentaron en las columnas, eran verticales y en muchos casos en toda la longitud del elemento. También se observó desprendimiento del concreto y desgaste del acero de refuerzo debido al grado de corrosión, por lo cual se debe determinar si la pérdida de sección de las armaduras y el concreto condujeron notablemente a la reducción de la capacidad de carga del elemento, agotándose la seguridad prevista por las normas.



4. En lo que concierne a la rótula plástica originada en el extremo de la columna, se debe elaborar la revisión detallada de la resistencia de los elementos que la conforman.
5. Los daños encontrados en las vigas fueron grietas horizontales, gran porcentaje en casi toda la longitud y en la dirección del acero de refuerzo longitudinal. Otro aspecto tomado en cuenta fue el desprendimiento del concreto en las vigas y el grado de corrosión del acero que provocó pérdida de la sección del mismo comprometiendo la seguridad de la estructura. Por lo antes expuesto se debe determinar si el % de pérdida de sección en el acero de refuerzo compromete la estabilidad de la estructura.
6. Grietas en los nodos posiblemente a causa de la mala distribución del acero transversal o tal vez por la insuficiencia de acero.
7. Los agrietamientos en algunas losas tablero, no fue de gran espesor y solo se presentaron en el recubrimiento, aunque en algunas se observaban filtraciones debido a la inadecuada impermeabilización.
8. Las losas que presentaron daños severos, se les observó desprendimiento del recubrimiento, corrosión en el acero de refuerzo y rotura de los tableros por lo cual se debe evaluar si el daño ocasionado es reparable o resulta más económico demoler la losa y construirla nuevamente.
9. En lo que se refiere a los muros de la vivienda, al ser construidos nuevamente luego de ser derribados por un mar de leva, se construyeron sobre fundaciones muy superficiales ocasionando esto que las mareas altas socavaran dejándolas sin apoyo.





### **5.1.2 Vivienda en Puerto La Cruz**

1. En esta estructura se pudo observar que el recubrimiento del acero de refuerzo era de 2cm, aumentando el riesgo de corrosión del concreto y acero.
2. En las columnas el % de fisuración fue muy elevado, aunque en su mayoría los daños fueron leves, pero de igual manera sobrepasaron los límites permitidos por la Norma ACI 224 para ambiente marino, porque facilita la corrosión en las armaduras de refuerzo.
3. Las columnas con daños severos presentaron disgregaciones del concreto debido a la corrosión de las armaduras, provocando la capa expansiva del oxido una fuerte presión tensional en el concreto haciéndolo desprenderse.
4. Las vigas aunque no presentaron daños severos, sus daños se caracterizaron por la presencia de grietas horizontales, verticales. Solo se observó una grieta inclinada en la estructura, ubicada en la fachada de la vivienda y atraviesa completamente la cara frontal de la viga, pero es de poca profundidad.
5. En las losas se observó alto % de daños, los cuales consistieron en: desintegración de los tabelones, corrosión en los perfiles metálicos y grietas en el recubrimiento de las losas en volado, ya que el resto de las losas no contaban con recubrimiento, por lo que la desprotección de los tabelones y los perfiles de acero en este ambiente agresivo originó su deterioro.

### **5.1.3 Vivienda en Guanta**

1. En esta vivienda no se pudo observar el recubrimiento que presentaban las armaduras, esta vivienda en su estructura solo presentaba pequeñas grietas.



2. Los anchos de fisuras encontrados en los elementos sobrepasaban en algunos casos, los anchos recomendados por la Norma ACI 224, por lo que se deben evaluar estas fisuras y sus posibles reparaciones para evitar que se presente corrosión en el acero de refuerzo.
3. Las columnas presentaron bajos niveles de daños, salvo las grietas que se observaron en los nodos las cuales indican que se debe revisar el acero de refuerzo en las uniones, porque es posible que las separaciones no sean las adecuadas o el acero no sea suficiente.
4. Los daños en las vigas solo presentaron aproximadamente un 30% de daños, caracterizándose por pequeñas grietas horizontales, verticales e inclinadas de poca profundidad.
5. En la losa de techo y entrepiso solo se observaron pequeñas grietas en los bordes y en partes superiores e inferiores, salvo en la losa de planta baja donde las fisuras si fueron de gran espesor, debido a la mala compactación del muro de contención ocasionando un desplazamiento que provocó la rotura de la losa.
6. En lo que respecta al muro, se observaron sus defectos de construcción, ya que el material utilizado fueron escombros que no se compactaron correctamente dejando vacíos que comprometían su resistencia. Las vigas y columnas del muro no contaban con el recubrimiento adecuado para proteger el acero de refuerzo, por lo que se observó la corrosión y pérdida de sección del mismo.



## 5.2 PRESENCIA DE CARBONATACIÓN Y CLORUROS

Se realizaron pruebas para obtener un monitoreo de corrosión y consistieron en la aplicación de dos químicos, en algunos elementos, para de esta manera determinar la presencia de cloruros y carbonatación en las estructuras.

Con la finalidad de determinar el grado de carbonatación en la estructura se extendió una solución débil de fenolftaleína (1%) sobre el concreto. Si la muestra ensayada no cambia de color indica que el Ph es menor a 8, con lo que se concluye que el área está carbonatada. Si por el contrario la muestra ensayada presenta un color rojo violáceo nos indica que el Ph es de 9 a 9,5 y se concluye un mayor progreso de la carbonatación en el concreto.

Para verificar la existencia de los iones cloro se extendió sobre la superficie una solución de nitrato de plata de baja concentración (1%) sobre el concreto, lo que nos indica si la zona ensayada se muestra blanquecina, que ha sido invadida por los iones antes mencionados.

### 5.2.1 Vivienda en Lechería

Al aplicar la solución de fenolftaleína (1%) sobre la columna, se observó que el color de la zona ensayada se alteró, cambiando a un color violeta, lo cual indica que la carbonatación en el elemento tiene bastante progreso y el Ph a disminuido entre 9 – 9,5. En la figura 5.1 se puede apreciar el efecto.



**Fig. 5.1** Reacción de la fenoltaleína en la columna.

Luego se procedió a verificar la presencia de iones cloro, al aplicar sobre la superficie de la losa una solución de nitrato de plata. La sección ensayada se tornó blanquecina indicando que el elemento ha sido invadido por iones cloro. La reacción se puede apreciar en la figura 5.2.



**Fig. 5.2** Reacción del nitrato de plata sobre la losa.

### **5.2.2 Vivienda en Puerto La Cruz**

Al aplicar la fenolftaleína de baja concentración sobre la superficie de la columna se observó el cambio de color hacia un tono violáceo indicando el progreso de la carbonatación en el elemento, que se puede observar en la figura 5.3.



**Fig. 5.3** Reacción de la fenoltaleína en la superficie de la columna.

En esta vivienda también se aplicó la solución de nitrato de plata al 1% sobre el concreto deteriorado alrededor de las cabillas de una columna para determinar la existencia de los iones cloro, y el resultado fue el cambio de color a blanco, demostrando la presencia de los iones mencionados (figura 5.4).



**Fig. 5.4** Reacción del nitrato de plata, aplicado alrededor de las cabillas.

### 5.2.3 Vivienda en Guanta

Al aplicar la solución débil de fenolftaleína sobre la superficie de la columna, no hubo ningún cambio de color indicando que la carbonatación en el elemento es completa, es decir, que el hidróxido cálcico del concreto se ha transformado en carbonato cálcico y esto se observa en la figura 5.5.



**Fig. 5.5** Reacción de la fenolftaleína sobre la columna del muro y efectos de la corrosión del acero

Para comprobar la presencia de iones cloro se aplicó nitrato de plata al 1% sobre la superficie del concreto de la viga del muro, apreciando que la zona ensayada cambió de color a un tono blanco, de lo cual se concluye que existe la presencia de iones cloro y este efecto se observa en la figura 5.6.





**Fig. 5.6** Presencia de iones cloro en la viga del muro.

### **5.3 DIAGRAMA DE CARGA ALARGAMIENTO DE UNA BARRA CORROÍDA**

Por lo general en los estudios patológicos se establecen medidas para evaluar la calidad del concreto ya que los daños de estos suelen ser muy frecuentes, con el acero no ocurre lo mismo porque es difícil que se originen problemas con el incumplimiento de las normas de calidad, pero en las estructuras ubicadas en ambiente marino es muy usual toparse con corrosión en el acero de refuerzo a causa de la desprotección que sobreviene al dañarse el concreto.



### 5.3.1 Ensayo a Tracción del Acero

Por lo antes mencionado se procedió a realizarle el control de resistencia a tracción a dos muestras de acero, una en estado sano (figura 5.7) y la otra con presencia de corrosión (figura 5.8) para obtener el límite elástico, la carga de rotura y el alargamiento en rotura de las probetas y de esta manera obtener el diagrama de carga alargamiento para lograr verificar si estos valores se encuentran por encima de las especificaciones presentes en la Norma 316-2000 “Barras y rollos de acero con resaltes para uso como refuerzo estructural”.



**Fig. 5.7** Cabilla estriada sana.



**Fig. 5.8** Cabilla estriada con presencia de corrosión.

Para la realización del ensayo se utilizaron 2 barras estriadas de diámetro  $\frac{1}{2}$ ", con longitud de aproximadamente 30cm cada una, perteneciente la cabilla corroída a una vivienda ubicada en Lechería, cerca de la vivienda en estudio.

El equipo utilizado para el ensayo fue una Máquina Universal de Ensayo de Materiales, marca Tinius Olsen, modelo Super L, serial 76025 y capacidad (ver figura 5.9)



**Fig. 5.9** Máquina Universal de Ensayo de Materiales.



### 5.3.2 Tabla de Resultado



N.R.: 3577

#### INFORME DE LABORATORIO

FECHA: 31 de Agosto de 2009

CLIENTE: BR. SARA ESCALANTE

ASUNTO: ENSAYOS DE TRACCIÓN.

MATERIAL: DOS (2) CABILLAS UNA CORROÍDA Y UNA NORMAL.

#### RESULTADOS DE LABORATORIO

♦ ENSAYO UNIAXIAL DE TRACCIÓN.

MUESTRA	Ø (MM)	AREA TRANSV (MM <sup>2</sup> )	AREA TRANSV (Pulg <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (LB)	ESFUERZO MAXIMO (Kg/MM <sup>2</sup> )	ESFUERZO MÁXIMO (PSI)	CARGA FLUENCIA (LB)	ESFUERZO FLUENCIA (Kg/MM <sup>2</sup> )	ESFUERZO FLUENCIA (PSI)
NORMAL	12,70	126,67	0,1963	19.550	70,36	99.592	12.414	44,47	63.240
CORROIDA(*)	9,60	72,38	0,1121	8.410	52,71	75.022	6.020	37,76	53.702

(\*): Ø 12,70 mm antes de corroerse.

Por: ASMECA ORIENTE, C.A.

  
ASMECA  
ORIENTE, C.A.  
RIF: J3063552-6

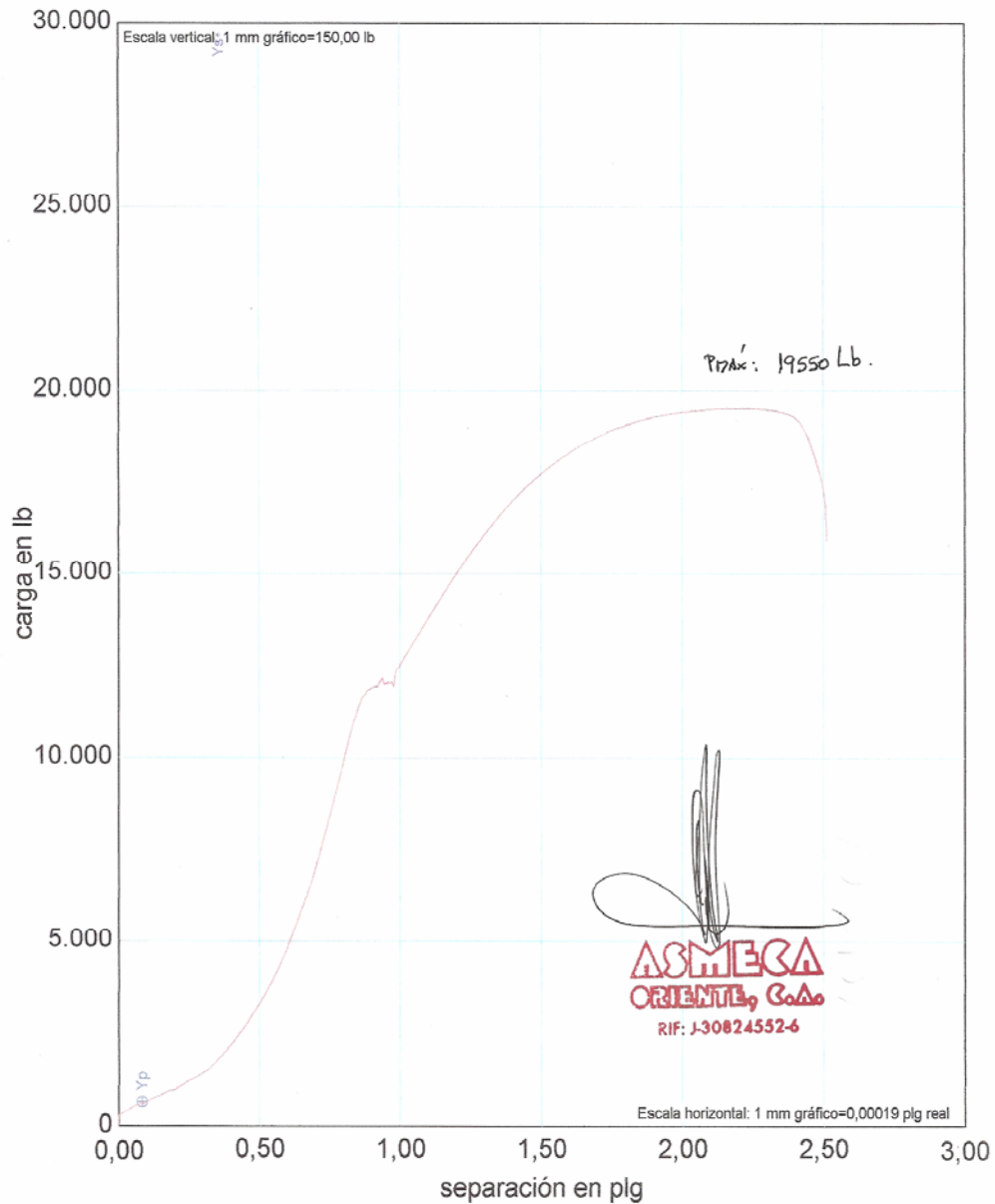
ING. JOSÉ A. GÓMEZ  
GERENTE GENERAL  
C.I.V. 16.591



### 5.3.3 Diagrama de Carga Alargamiento de una Barra Sana.

№: 3577  
CABILLA NOROCC.

T 1



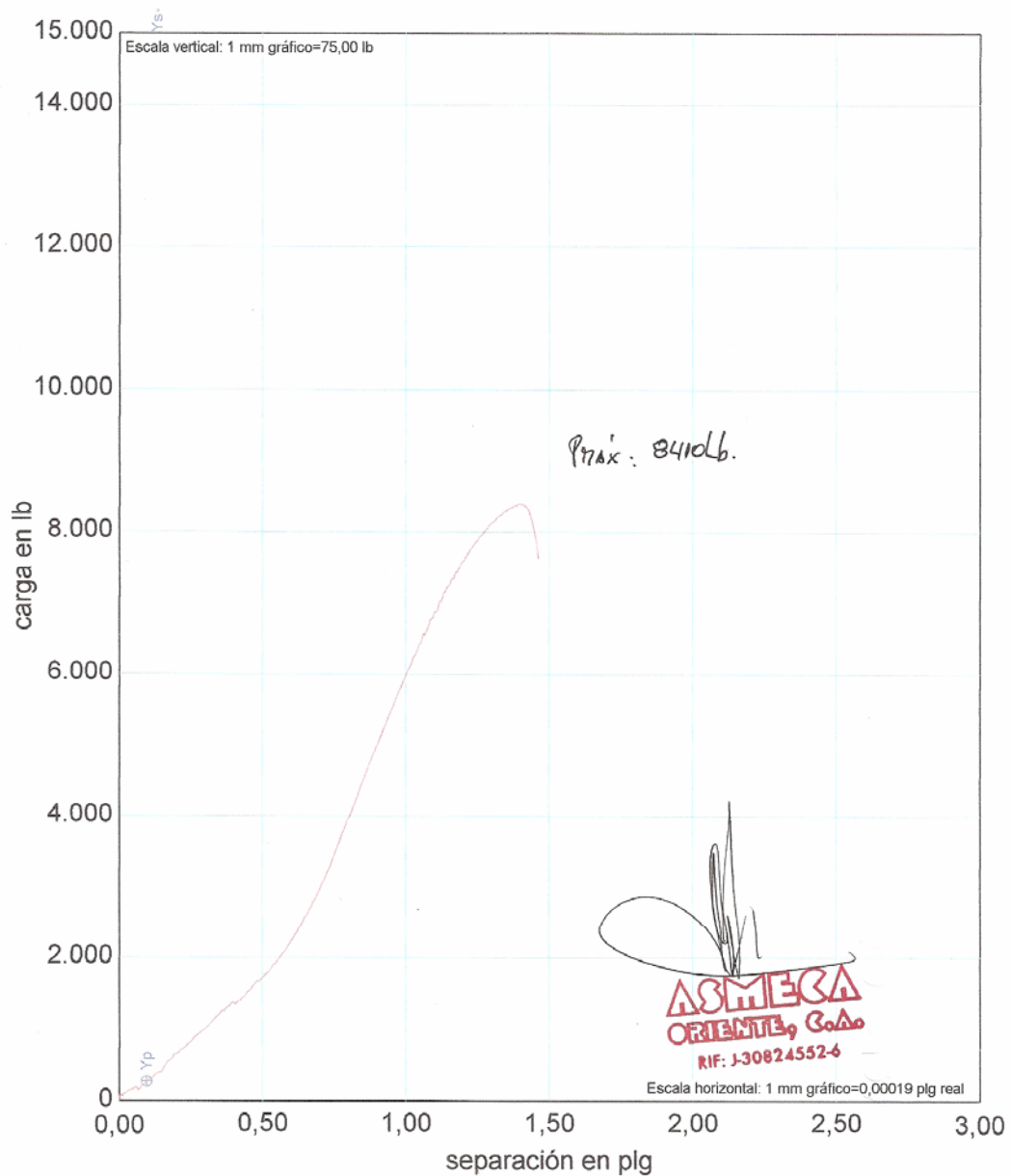
Nota: Los límites extremos de gráfico pueden estar aproximados.



### 5.3.4 Diagrama de Carga Alargamiento de una Barra Corroída.

№: 3577  
CABILLA Corroída

T 1



Nota: Los límites extremos de gráfico pueden estar aproximados.



### 5.3.5 Comparación de los resultados con valores de la Norma COVENIN 316-2000

- Limite Elástico ( $f_y$ ): 42kg/mm<sup>2</sup>
- Resistencia a la tracción ( $f_{su}$ ): 63kg/ mm<sup>2</sup>

**Tabla 5.1** Comparación de esfuerzos del ensayo con la Norma Covenin 316-2000.

Barra	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo de rotura
Sana (1/2")	44,77 kg/mm <sup>2</sup> > 42 kg/mm <sup>2</sup>	70,36 kg/mm <sup>2</sup> > 63 kg/mm <sup>2</sup>
Corroída (1/2")	37,76 kg/mm <sup>2</sup> > 42 kg/mm <sup>2</sup> <b>NO CUMPLE</b>	52,71 kg/mm <sup>2</sup> > 63 kg/mm <sup>2</sup> <b>NO CUMPLE</b>

- El esfuerzo de fluencia obtenido en el ensayo no debe exceder al esfuerzo de fluencia del cálculo es más del 30%

$$f_y^* \leq 1,3 (f_y \text{ cálculo}) \quad f_y \text{ cálculo: } 42\text{kg/ mm}^2$$

$$\text{Barra sana: } 44,77 < 54,60$$

$$\text{Barra corroída: } 37,76 < 54,60$$

- La resistencia a la tracción obtenida en el ensayo no será menor que 1,25 veces el limite elástico real ( $f_y^*$ )





$$f_{su} \geq 1,25f_y^*$$

Barra sana:  $70,36 > 55,96$

Barra corroída:  $52,71 > 47,20$

La barra corroída no cumple con el mínimo límite elástico ( $f_y$ ) y resistencia a tracción ( $f_{su}$ ) recomendado por la norma, lo cual indica que el grado de corrosión que presentaba la barra ocasionó la disminución de la resistencia a tracción de la misma, ya que en estado sano la barra debería soportar un esfuerzo de alrededor de 19500Lb y solo resistió 8410Lb, disminuyendo en un 43% su resistencia.

## **5.4 DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS**

Para tener una idea más clara de las causas que pudieron originar los daños presentes en las estructuras es necesario contar con los planos estructurales de las viviendas (losa de fundación, armado de vigas, columnas y losas, etc.), tipo y dosificación de la mezcla de cemento utilizada, entre otros.

Ya que en este caso no en todas las viviendas fue posible contar con los mismos se procedió a diagnosticar las causas solo de acuerdo a los síntomas que presentaban cada una de las estructuras y a las deficiencias constructivas encontradas.

### **5.4.1 Vivienda Ubicada en Lechería**

Esta vivienda construida hace aproximadamente 60 años, presentó en muchos de sus elementos alto grado de corrosión que fue representado por grandes fisuras, desprendimiento del concreto, pérdida de sección de las armaduras, en algunos casos,



lo cual es debido al ambiente marino donde se encuentra la estructura y al poco espesor de recubrimiento que presentaba, el cual es indispensable para evitar la corrosión del acero de refuerzo. Otra causa de la corrosión y el desprendimiento del concreto fue la carbonatación.

Otro de los problemas encontrados en los planos deteriorados de esta vivienda fue que el  $f'c$  es de  $180\text{kg/cm}^2$  y el  $f_y$  de  $2800\text{kg/cm}^2$ , valores muy por debajo de los normalizados en la actualidad.

Las losas de la vivienda de tipo tabelón, tampoco contaba con el recubrimiento necesario, además la impermeabilización del techo no se le realizó el mantenimiento necesario y por esta razón había filtraciones en algunos paños.

Debido a la cantidad de años que tiene de construida la estructura se puede concluir que la relación agua/cemento pudo ser la adecuada ya que en caso contrario, con el deficiente recubrimiento (1,5cm) y el ambiente agresivo la estructura presentaría más daños si la mezcla hubiese mostrado mayor porosidad.

Respecto al muro, inicialmente fue construido con fundaciones de poca profundidad, y por tal razón el mar de leva lo derribo. Al ser construido nuevamente alejándolo 1,80m del mar se volvió a cometer el mismo error de construcción, al realizar fundaciones poco profundas, provocando que la marea alta socavara dejando las fundaciones en la intemperie y más aun al no colocar vigas de amarre lo cual produjo agrietamientos en el muro. Es de gran importancia mencionar que a pesar de que el muro fue construido hace apenas pocos años (5años), todas sus columnas presentan agrietamientos y desprendimiento del concreto a causa de la corrosión, lo que nos puede llevar a concluir que el concreto no presentaba una adecuada relación agua/cemento, los materiales utilizados en la mezcla no fueron los adecuados o hubo defectos en la construcción.



#### **5.4.2 Vivienda Ubicada en Puerto la Cruz**

Esta vivienda al igual que la anterior presentaba poco recubrimiento en sus elementos estructurales y es por esta razón que presentan corrosión en el acero de refuerzo.

Las columnas y vigas de esta estructura, mostraron grietas horizontales y verticales formadas a lo largo del acero longitudinal y en raros casos del transversal, indicando corrosión en las armaduras de refuerzos.

La viga en volado de la fachada sobre la puerta, presentaba una grieta inclinada de 45° que atravesaba la cara frontal de la viga y se extendía hacia la columna, pero dicha grieta no presentaba gran peligro ya que era poco profunda.

Las losas de esta vivienda no contaban con recubrimiento inferior (solo en la fachada), y por tal razón los perfiles presentaban corrosión y los tabelones se desintegraron y rompieron, para evitar dicho deterioro en ambiente agresivo es necesario colocar recubrimiento adecuado a la losa, para de esta manera proteger el tabelón y el perfil de acero

#### **5.4.3 Vivienda Ubicada en Guanta**

Esta vivienda fue la que mostró menor porcentaje de daños, por lo general sus daños fueron leves, en vigas, columnas y losas. Los problemas severos en esta vivienda correspondieron a defectos de proyecto o de ejecución, ya que la misma esta sujeta por un muro de contención que no cuenta con la estructura necesaria para sostener por mucho tiempo la vivienda ya que está constituido por materiales de relleno que no fueron compactados adecuadamente ocasionando el movimiento del relleno y quiebre de la losa soportada en el mismo y además las vigas y losas de este



muro presentan alto grado de corrosión en las armaduras de refuerzo corriendo peligro de deslizamiento de la estructura por completo al desplomarse el muro que la sostiene.

## **5.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL BAJO CARGAS VERTICALES Y ACCIÓN SÍSMICA**

Con el fin de intentar correlacionar los daños de la vivienda ubicada en Lechería con sus características estructurales, se desarrollaron dos modelos estructurales realizados en computadora con la ayuda del programa ETABS de acuerdo a las Normas ACI 318 usando el método de carga ultima, donde los efectos de rotación y traslación se tomaron en cuenta por el Método de Superposición Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel.

Se constataron las dimensiones reales de todos los elementos para estimar las cargas muertas. Las cargas por peso propio dieron un promedio de  $292\text{Kg/m}^2$  (Anexo D).

### **5.5.1 Modelos para el Análisis**

**Modelo 1**, se creó con la finalidad de comprobar si la construcción de la vivienda cumple con las Normas vigentes, utilizando el acero de baja resistencia utilizado para la construcción de la misma ( $2800\text{Kg/cm}^2$ ).

**Modelo 2**, este se creó tomando en cuenta los resultados del ensayo a tracción realizado a las cabillas  $\frac{1}{2}$ " una sana y la otra presentando pérdida de sección a causa de la corrosión, con características similares al acero de la vivienda. Empíricamente y



por los resultados obtenidos en el ensayo se aplica un factor de disminución de resistencia igual a:

Resistencia corroída/ resistencia no corroída= factor de disminución

$$3776(\text{Kg}/\text{cm}^2)/4200(\text{Kg}/\text{cm}^2)= 0,89$$

Este factor se multiplica por el  $f_y$  de construcción ( $2800\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) y se obtiene el  $f_y$  a utilizar en este modelo  $f_y= 2492 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ , indicando este que el acero de refuerzo de la vivienda en la actualidad presenta disminución de la resistencia.

**Tabla 5.2** Criterios tomados en cuenta para el Cálculo Estructural.

<b>MODELO 1</b>	<b>MODELO 2</b>
a.)Especificaciones de las Normas COVENIN: 1756-2001, 1753-2006 y Norma ACI: 318-2005	a.)Especificaciones de las Normas COVENIN: 1756-2001, 1753-2006 y Norma ACI: 318-2005
b.) Se tomó en cuenta la carga variable y la carga muerta	b.) Se tomó en cuenta la carga variable y la carga muerta
c.) $f'c$ : $180\text{Kg}/\text{cm}^2$ $f_y$ : $2800\text{Kg}/\text{cm}^2$ Coeficiente de poisson: 0.30 Modulo de Elasticidad: $2100000\text{Kg}/\text{cm}$ Peso Especifico del Concreto: $2400\text{Kg}/\text{m}^3$	c.) $f'c$ : $180\text{Kg}/\text{cm}^2$ $f_y$ : $2492\text{Kg}/\text{cm}^2$ Coeficiente de poisson: 0.30 Modulo de Elasticidad: $2100000\text{Kg}/\text{cm}$ Peso Especifico del Concreto: $2400\text{Kg}/\text{m}^3$



## 5.5.2 Valores de Salida

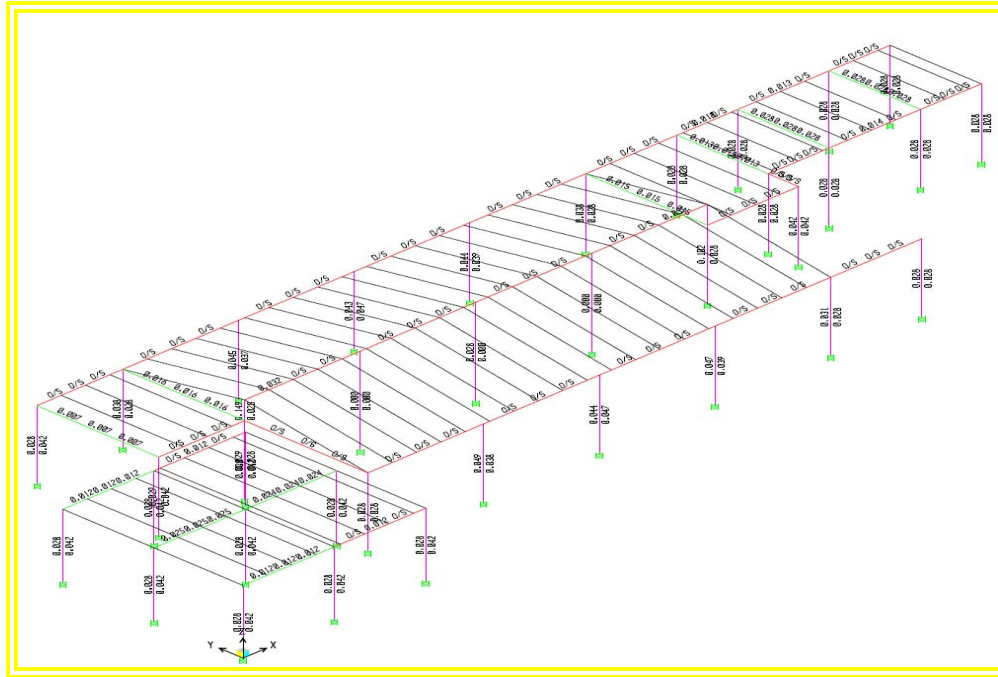
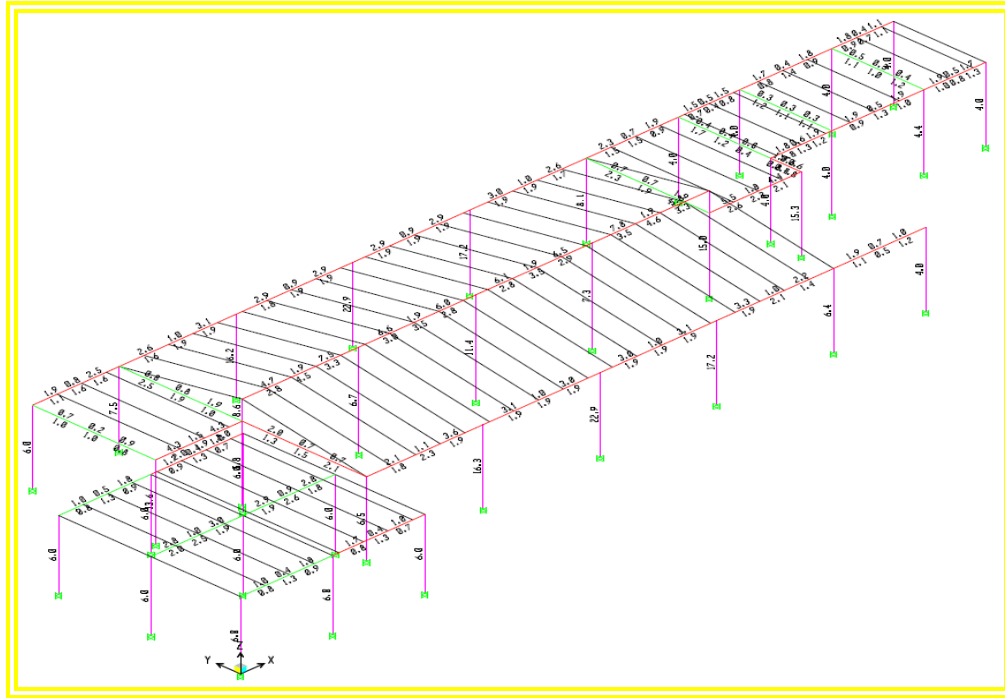


Fig.5.10 Áreas de acero Transversal Modelo 1.



**Fig. 5.11** Áreas de acero Longitudinal Modelo 1.

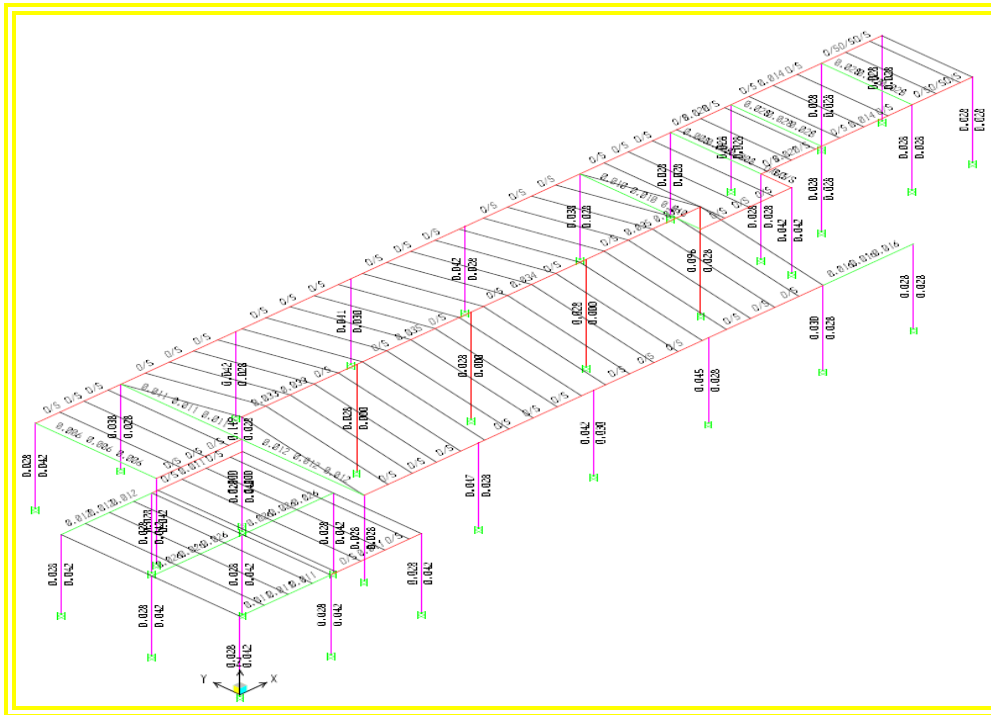


Fig. 5.12 Áreas de acero Transversal Modelo 2.

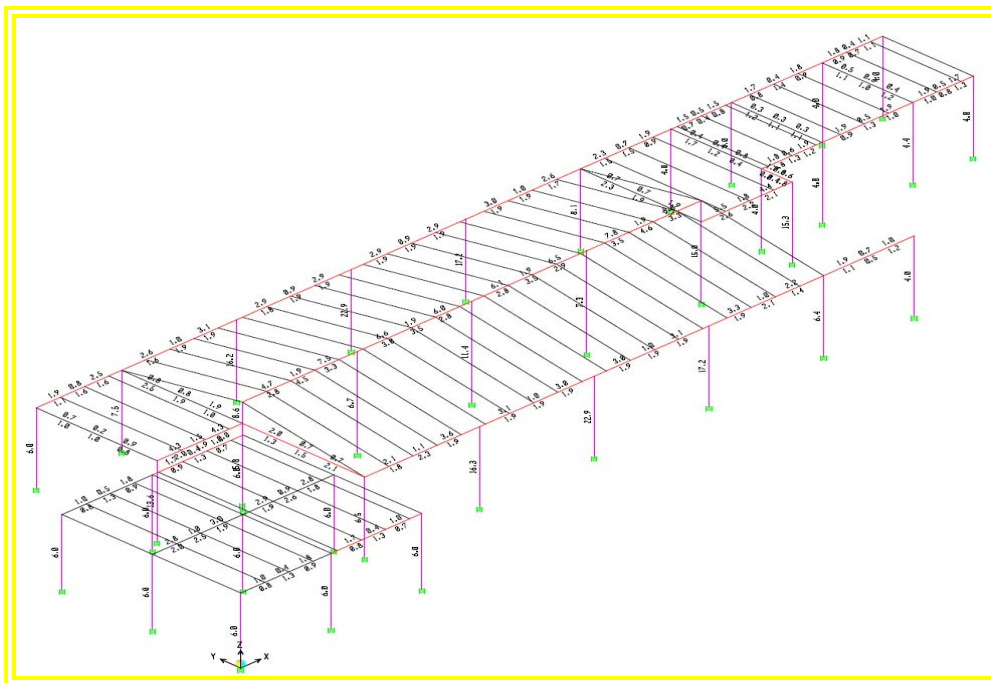
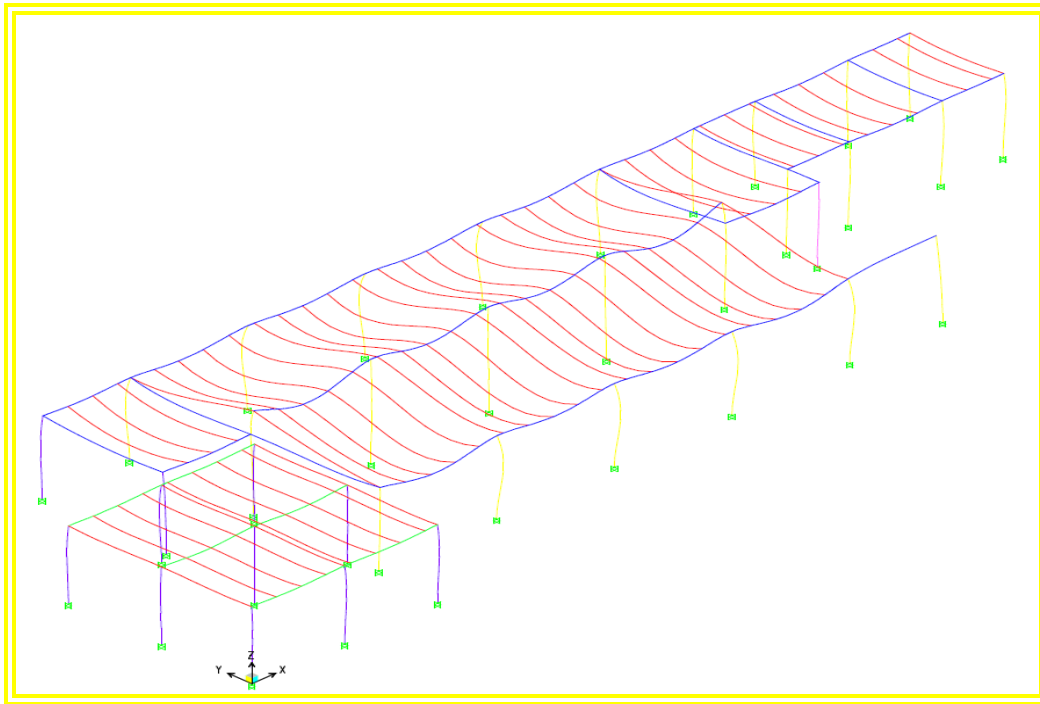
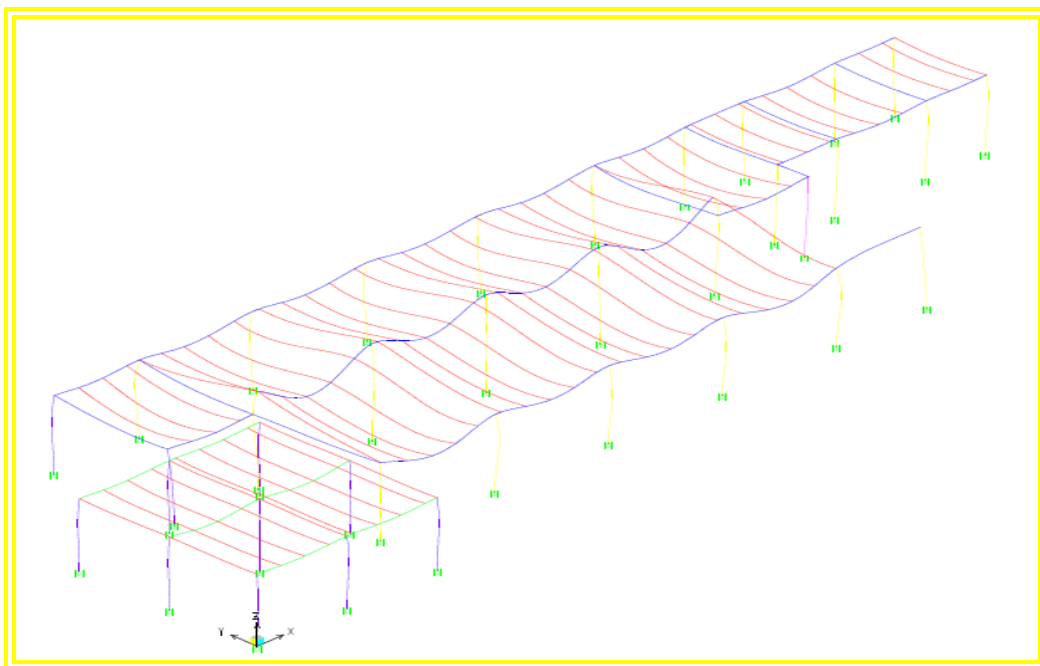
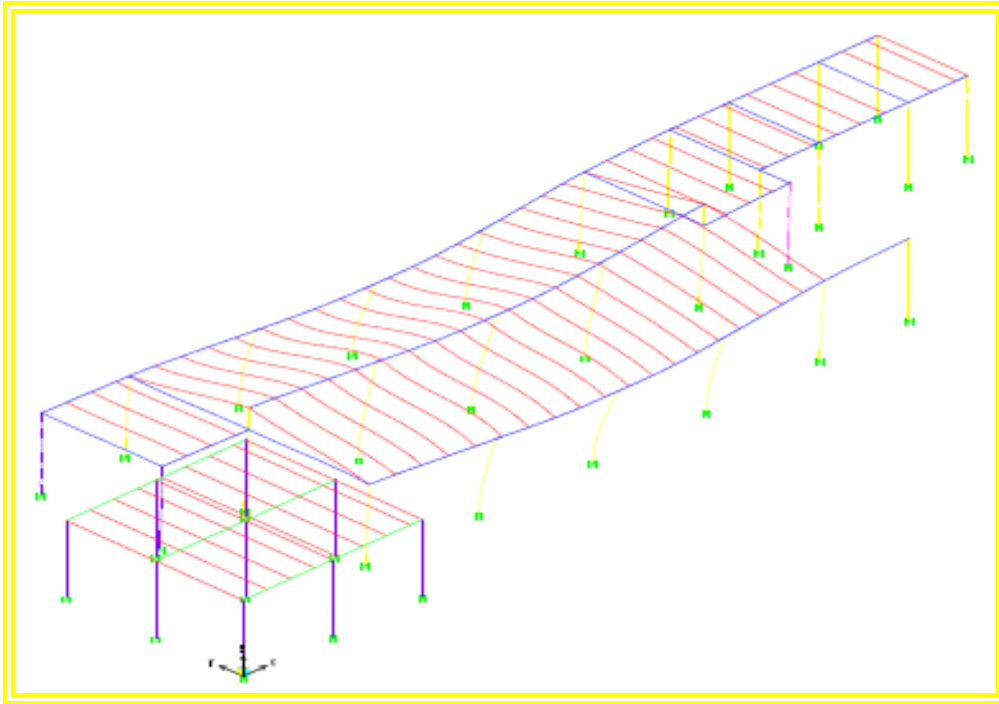


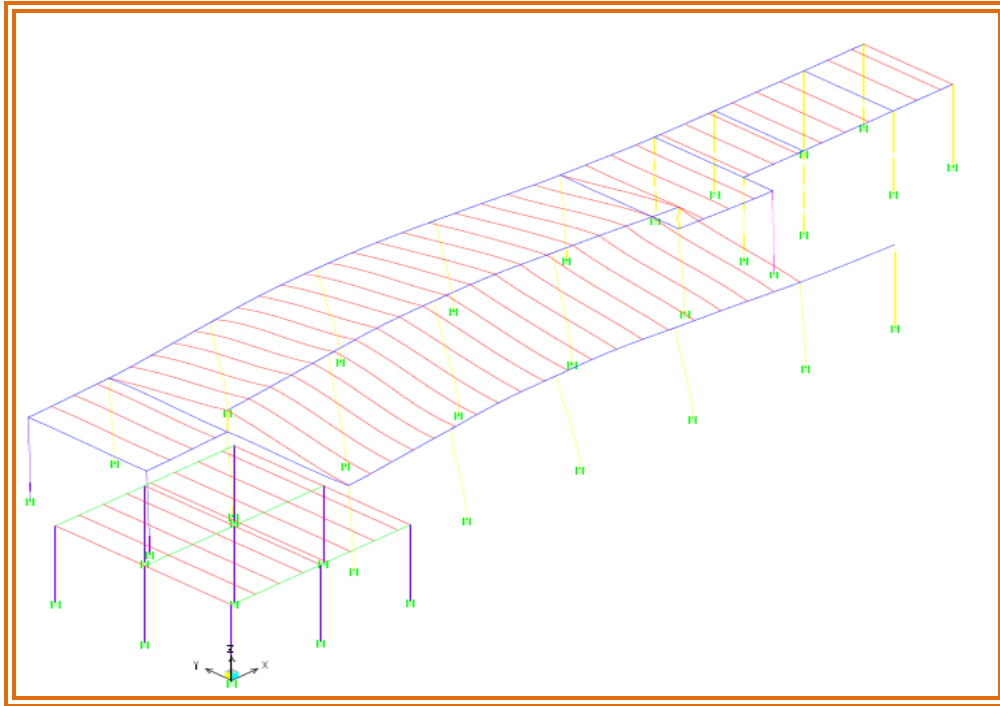
Fig.5.13 Áreas de acero Longitudinal Modelo 2.



**Fig. 5.14** Desplazamientos Laterales Modelo 1**Fig. 5.15** Desplazamientos Laterales Modelo 2



**Fig. 5.16** Períodos de Vibración Modelo 1

**Fig. 5.17** Períodos de Vibración Modelo 2**Tabla 5.3** Desplazamientos Laterales

Modelo	Desplazamiento en X	Desplazamientos en Y	Valor limite normativo 0,024
1	0,2573	0,3719	No cumple
2	0,3412	0,3250	No cumple

Nota: Se consideraron los mayores desplazamientos para verificarlos con el valor límite de la Norma que especifica para edificaciones en el grupo B2 y estructuras susceptibles a sufrir daños por deformaciones un valor de 0,024.

**Tabla 5.4** Períodos de Vibración

Periodo Fundamental de Vibración (Ta) seg Método Estático	Periodo de Vibración dinámico	
	Modelo 1	Modelo 2
0,1943	0,54	1,42

### 5.5.3 Análisis de los Valores de Salida

#### 5.5.3.1 Áreas de Acero

**Modelo 1:** luego de comparar el acero longitudinal y transversal con los que fue construida la estructura se pudo corroborar que no cumple con las especificaciones de la Normas actuales, ya que la vivienda presenta una cuantía de acero inferior:

- Las vigas de apoyo presentan déficit de acero longitudinal y trasversal, al extremo de no soportar el esfuerzo de corte y tensión, por lo que se debe aumentar las secciones de la viga ya que el acero solicitado no se adaptaría a la sección actual.
- Las columnas presentan deficiencia de acero longitudinal y transversal, pero en este caso la sección que presentan si es suficiente.
- No se pudo realizar una revisión de la disposición del acero en los nodos y fundaciones ya que no había un registro detallado de los mismos.



**Modelo 2:** este modelo se realizó presentando deficiencia en el acero ya que se tomo en cuenta la corrosión del mismo y por consiguiente tampoco cumple con las Normas actuales:

- Las vigas de apoyo presentan deficiencia de acero longitudinal y transversal.
- En este caso las columnas centrales del techo en dos aguas requieren mayor refuerzo longitudinal con aumento de sección por su gran altura, pero no se tomara en cuenta ya que estas columnas realmente no presentaban daños graves, realmente eran de gran interés las columnas que están más expuestas al ambiente y esta solo indicaron deficiencia del acero longitudinal y transversal.

#### **5.5.3.2 Desplazamientos**

La mayoría de los valores resultaron estar por encima de lo normativo en ambos modelos, lo que indica que la estructura es muy flexible quedando susceptible al colapso durante un sismo.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ESTRUCTURAL**

#### **6.1 PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ESTRUCTURAL Y PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL.**

Debido a que a la vivienda ubicada en Lechería fue la que presentó los daños estructurales más graves, se le planteará una propuesta de restauración estructural, ya que sus condiciones la convierten en una estructura sísmicamente muy vulnerable y las reparaciones mínimas que se propongan para la misma servirán para realizar las reparaciones de las viviendas de Puerto La Cruz y Guanta.

Para realizar dicha propuesta de restauración no se dispuso de toda la información técnica necesaria relacionada con el proyecto y construcción originales, por lo tanto fue necesario realizar actividades de campo: evaluación de la edificación existente (levantamiento estructural), evaluación estructural y verificar con algunos planos en estado de deterioro. Es de importancia destacar que no se contaba con estudios de suelo y no se evaluó la resistencia del concreto la cual es  $180\text{kg/m}^2$ .

Luego de la evaluación de la estructura se determinó cuales eran las deficiencias más notorias de esta vivienda y a continuación se presenta las características básicas de dicha adecuación:

1. Reparación de las fisuras existentes utilizando un mortero epoxi o un mortero de cemento ya que se trata de fisuras muertas, esto se realiza de la siguiente manera:
  - En grietas relativamente estrechas y en concreto sano se sella la superficie con un material termoplástico o simplemente con cinta adhesiva.



- En grietas más anchas o en grietas donde el concreto presente señales de deterioro importante se aplica un sellado con masilla epóxi.
  
- En concretos poco sanos se realiza lo siguiente:
  - Una abertura superficial en sección “V” utilizando un zincele y un martillo (figura 6.1).
  
  - Se limpiará el polvo de los bordes de la grieta con espátulas, escobas, chorros de arena o cualquier otro proceso que de buenos resultados.
  
  - Se recubrirá superficialmente la grieta con el mortero elegido para realizar un sellado temporal y exterior de la fisura.
  
  - Por los huecos ya taladrados e debe inyectar a presión la emulsión epóxica de baja viscosidad.

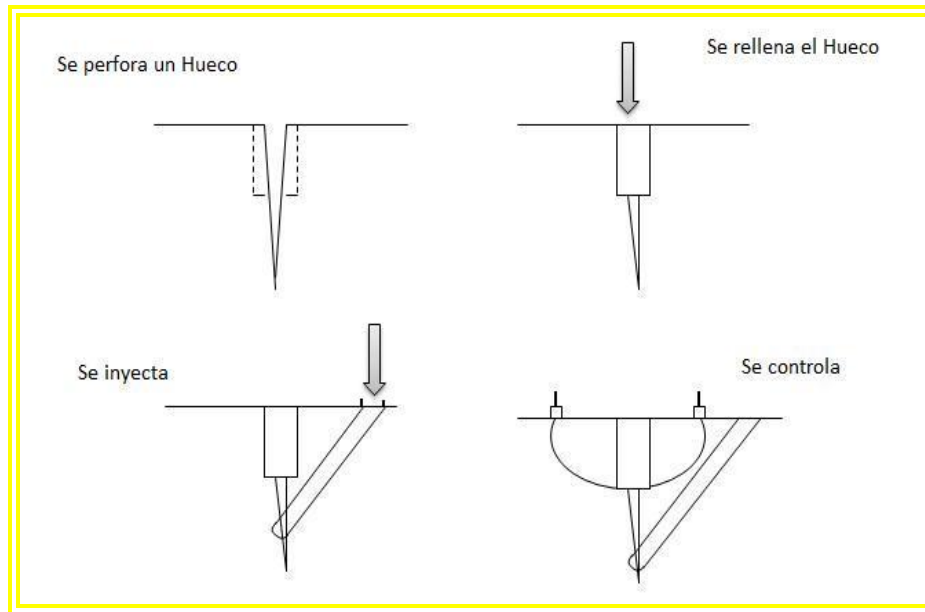


Fig. 6.1 Reparación de fisuras mediante rellenos e inyecciones.

2. Para reparar los elementos que presentan desprendimiento del recubrimiento debido a la corrosión del acero se realizara lo siguiente:
  - Eliminar el concreto deteriorado hasta encontrar concreto sano para fijar sobre este la reparación, esto se puede realizar mediante escarificado, puntero y martillo. Esta operación hay que extenderla hasta la parte posterior de las barras a fin de dejar libres por lo menos 2cm alrededor de las mismas para facilitar la limpieza de estas (ver figura 6.2).
  - Luego de eliminar el concreto suelto o corroído, se debe observar el núcleo para determinar la existencia de fisuras, si las hubiera se debe proceder a inyectarlas con una resina epoxi siguiendo la técnica utilizada en el número 1.
  - Inmediatamente después de la limpieza se debe colocar una capa de adhesivo epoxi tanto en el concreto como en las armaduras, para que sirva de adhesivo



entre el concreto existente y el que se va a colocar y colocar una barrera que aíse del exterior a las armaduras.

- Estando fresca la capa de adhesivo epoxi se debe colocar el nuevo concreto bien sea por gunitado (concreto proyectado) o colocándolo de manera tradicional.

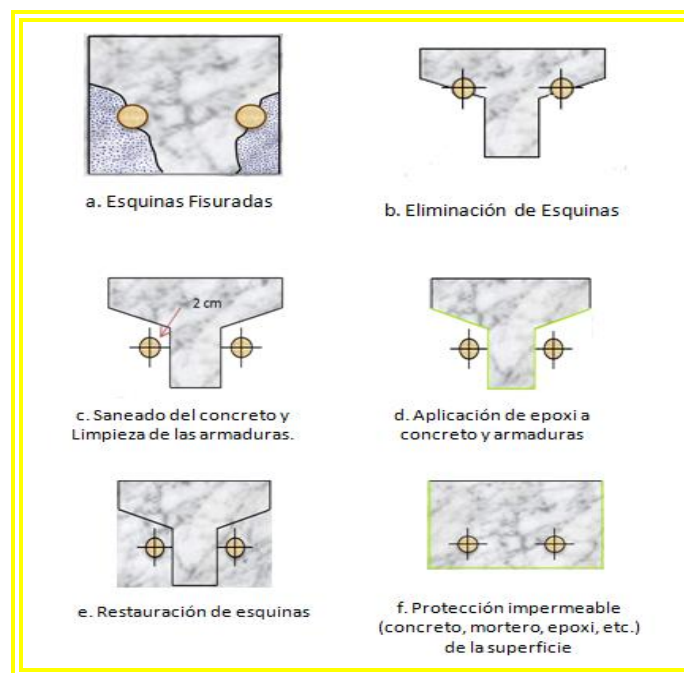


Fig. 6.2 Fases de reparación de un elemento dañado.

3. Los elementos que presenten desprendimiento del concreto y desgaste del acero de refuerzo, se podrán reparar de la siguiente manera:

- Se realizan los pasos del paso anterior hasta el punto 2

- Luego se procederá a cortar los trozos de barras excesivamente deteriorados y se sustituirán por trozos de barras sanas soldados a los sanos existentes. La longitud de solape no será inferior a 10 diámetros de la barra (figura 6.3).
- Una vez restauradas las barras y sustituidos los tramos dañados se procederá a realizar una limpieza con chorro de arena o cepillo de alambre para eliminar el oxido y las partículas sueltas de concreto.
- Ahora se procederá a aplicar el concreto nuevo.

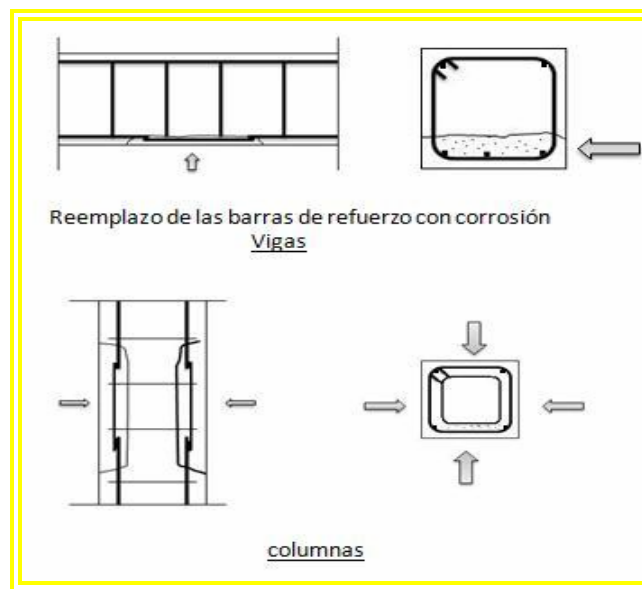


Fig. 6.3 Reemplazo de las barras de refuerzo corroídas.

4. Para aumentar la sección de las columnas y colocar el refuerzo carente:
  - Se puede aumentar la sección transversal incrementando su área de concreto alrededor de todo el elemento o hacia un lado de las caras agregando nuevas barras longitudinales y estribos, cuidando siempre que haya una perfecta

adherencia entre el concreto existente y el nuevo así como perfecta continuidad estructural del acero de refuerzo (figura 6.4)

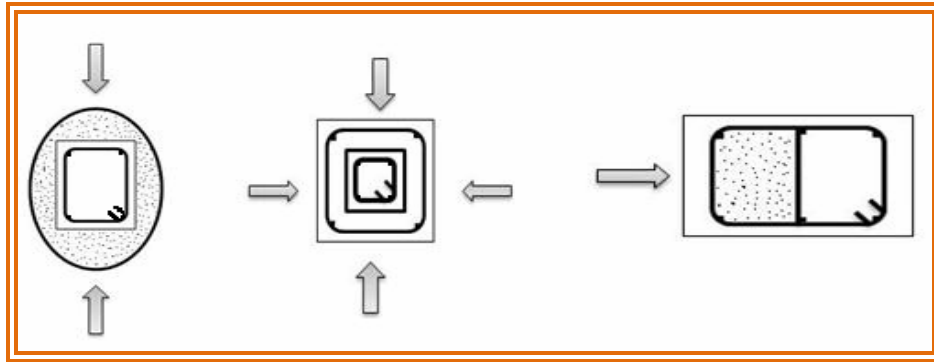


Fig. 6.4 Aumento de sección transversal en columnas.

5. En las vigas que requieren mayor área de acero longitudinal se puede realizar lo siguiente:
  - Se ejecutan los procedimientos del paso 2.
  - Luego se refuerza la viga mediante la colocación de tirantes formados por barras de acero roscadas en sus extremos adheridos a los costados de la viga y puestas en tensión por medio de tuercas que transmiten su tensión a anclajes adecuados.
  - A continuación se debe colocar una mano de pintura anticorrosiva para proteger los tirantes del medio ambiente corrosivo.

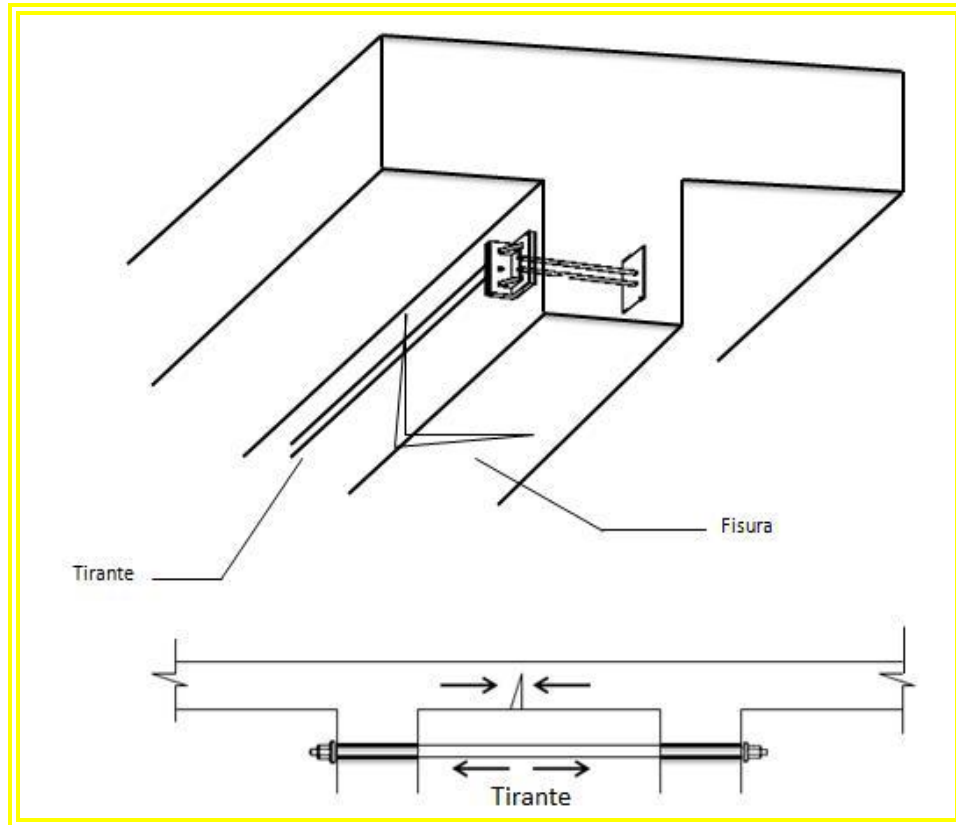


Fig. 6.5 Postensado mediante tirante tensado por rosca.

6. Las columnas también pueden ser reforzadas con ángulos metálicos colocados en sus cuatro esquinas y sujetos lateralmente entre sí por medio de presillas soldadas. La parte superior e inferior del refuerzo también van a estar formadas por ángulos.

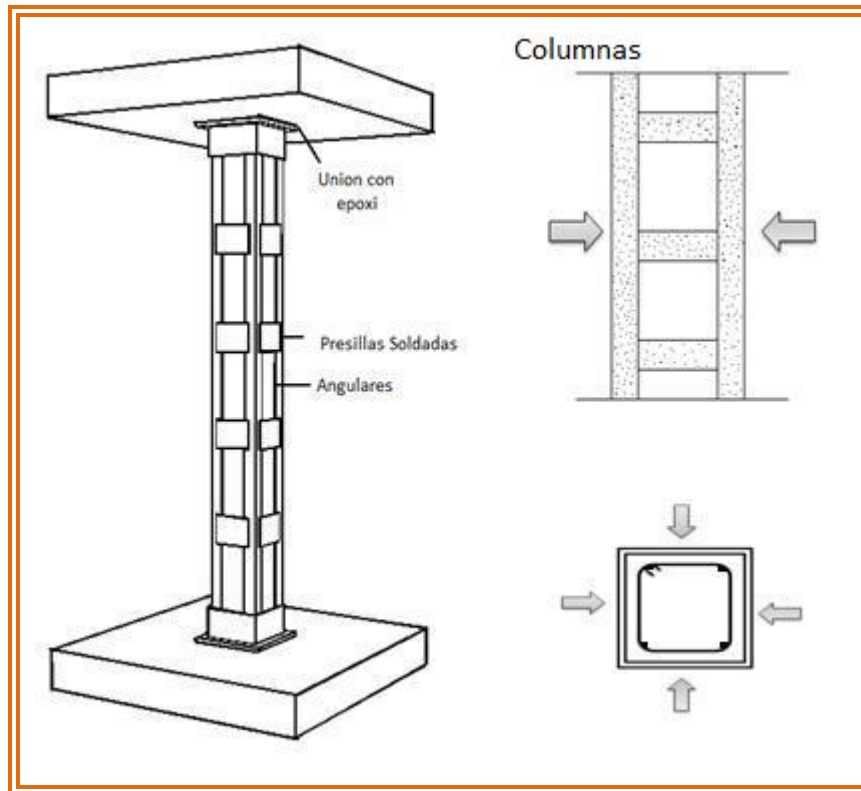


Fig. 6.6 Refuerzo de columnas con perfiles metálicos.

7. Las losas tablarón en estado de deterioro de la vivienda de Lechería no tiene reparación ya que la losa está totalmente filtrada por lo que se recomienda construir las nuevamente.
8. Para devolverle la capacidad de resistir momento en sus deformaciones plásticas a los nodos, los pasos a seguir son los siguientes:
  - Apuntalar para efectuar la demolición del nodo.
  - Demoler el nodo.



- Reforzar el nodo por medio de barras adicionales y estribos. Se pintan con un compuesto epoxi para pegar concreto nuevo con concreto viejo.
- Encofrar.
- Vaciado.
- Desapuntalar después del fraguado.

# **CAPÍTULO VII**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

1. El ambiente climatológico en la zona de Lechería, Puerto la Cruz y Guanta se caracteriza por un alto índice de agresividad, con temperatura media en promedio de 27°C, porcentaje de humedad relativa en 77% y los pico de humedad, según la tabla 4.13, se registraron en un 80% durante los meses de junio y agosto en el periodo de 11 años.
2. En el ensayo utilizado para demostrar la presencia de CO<sub>2</sub> en el concreto, con la solución de fenoltaleína, se pudo observar tonalidades de violeta indicando la presencia de carbonatación y blanco indicando carbonatación avanzada en el elemento. Al cuantificar el nivel de carbonatación presente a través de la grafica de Verbeck humedad Vs carbonatación, se obtuvo un 97% de la misma correspondiente a una humedad aproximada de 77%.
3. Se manifestó la presencia de cloruros al aplicarse la solución de nitrato de plata, cambiando el color del concreto a un tono blanquecino.
4. Para retardar la penetración tanto de cloruros como de sulfatos es recomendable utilizar un concreto con mayor resistencia mecánica y menor porosidad de acuerdo a las Normas COVENIN.
5. El ensayo a tracción del acero de refuerzo corroído, presentó valores de limite elástico y de resistencia a tracción por debajo de los permitidos por la Norma COVENIN en el orden de 4200Kg/cm<sup>2</sup> y 6300Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente,



ubicándose en un rango menor con  $3776\text{Kg/cm}^2$ , para el límite elástico y  $5271\text{Kg/cm}^2$ , para la resistencia a tracción. Valores reales si se toma en cuenta el grado de corrosión que presentaban las estructuras.

6. Los tipos de patologías identificadas en las estructuras de Lechería, Puerto la Cruz y Guanta son: carbonatación, ataques químicos, corrosión y disolución de la pasta del concreto.
7. El no contar con todos los planos y la falta de información de las estructuras, dificulta su evaluación.
8. Por desconocimiento de las Normas de construcción en ambientes climatológicos agresivos, se presentaron los daños estructurales en las viviendas estudiadas.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

1. En ambiente marino se debe tener en cuenta construir con  $\alpha = \text{agua/cemento}$  entre 0,35 – 0,4 para evitar la penetración de agentes agresivos que puedan disminuir la durabilidad del concreto armado.
2. La vivienda ubicada en Lechería presenta alto grado de vulnerabilidad sísmica y esto lo hace una estructura insegura, por tal la razón se recomienda demolerla ya que el costo de reparación sería muy alto.
3. Se debe considerar la posibilidad de reparar las viviendas de Puerto la Cruz y Guanta en el menor tiempo posible, ya que sus daños son menores, siguiendo las técnicas de restauración antes referidas.





4. Para ambientes agresivos debe tomarse en cuenta el espesor del recubrimiento y que la resistencia del concreto sea mayor o igual a  $250\text{Kg/cm}^2$ , aunque por resistencia mecánica los cálculos estén por debajo de este valor.
5. Una vez restauradas las viviendas de Puerto la Cruz y Guanta se recomienda usar inhibidores de corrosión tales como: protección catódica por corriente impresa y protección catódica por ánodos de sacrificio, evaluando antes si hay continuidad eléctrica y si se justifica la inversión.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astudillo, F. **“Evaluación Patológica a los Daños Causados en los Puentes y Alcantarillas de la Troncal 009 tramo Boca de Uchire – Clarines, Edo Anzoátegui”**. Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2006).
- [2] Ospina, J. **“Evaluación de los Daños causados en la Zona Emergida del Muelle N° 5 en el Puerto de Guanta, Edo Anzoátegui”**. Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2005).
- [3] Álvarez, A y Veltri, Y. **“Métodos Correctivos a los Daños Causados en las Estructuras de Hormigón Armado”**. Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2002).
- [4] Fernández, M. **“Patología y Terapéutica del Hormigón Armado”**. Segunda Edición. Editorial Dossat. Madrid. (1984).
- [5] Sanjuan, M y Castro, P. **“Acción de los Agentes Químicos y Físicos sobre el Concreto”**. Primera Edición. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México (2001).
- [6] Wikipedia. Hormigón Armado. Disponible:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Concreto\\_armado](http://es.wikipedia.org/wiki/Concreto_armado)



- [7] Norma ACI 201.2R-2001. Guía para la Durabilidad del Hormigón.
- [8] Alonso, J. **“Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones”**. Editorial Sidetur. Caracas. (2007).
- [9] Bermúdez, M. **“Corrosión de las Armaduras del Hormigón Armado en Ambiente Marino: Zona de Carreras de Mareas y Zona Sumergida”**. Madrid. (2007). Disponible en:  
[http://oa.upm.es/885/01/MIGUEL\\_ANGEL\\_BERMUDEZ\\_ODRIOZOLA.pdf](http://oa.upm.es/885/01/MIGUEL_ANGEL_BERMUDEZ_ODRIOZOLA.pdf)
- [10] CEMEX. **“La Industria del Cemento en Venezuela”**. Folleto informativo. Venezuela. (1994).
- [11] Waddell, J y Dobrowolski, J. **“Manual de la Construcción con Concreto”**. Tercera Edición. Editorial Mac Graw Hill. México. (1997).
- [12] Sidetur. **“Catalogo de Productos y Tablas de Diseño”**. Caracas. (2004). Disponible en:  
<http://www.sidetur.com.ve/publicaciones/pdf/Catalogo%20Productos.pdf>
- [13] González, M. **“La Corrosión del Concreto en Ambiente Marino”**. Perú. (1998). Disponible en:  
[http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f\\_doc/concreto/MGC57\\_Corrosion.pdf](http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/concreto/MGC57_Corrosion.pdf)
- [14] Directemar. **“El agua de mar”**. Perú. Disponible en:  
[http://www.directemar.cl/spmaa/Estudiantes/tareas/agua\\_mar/agua\\_mar.htm](http://www.directemar.cl/spmaa/Estudiantes/tareas/agua_mar/agua_mar.htm)



- [15] Moreno, A y Pérez, T. **“El Fenómeno de Corrosión en Estructuras de Concreto Reforzado”**. (2001). Disponible en: <http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt182.pdf>
- [16] Wikilibros. **“Patología de la Edificación”**. Disponible en: [http://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_edificaci%C3%B3n/Cimentaciones/Problem%C3%A1tica](http://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa_de_la_edificaci%C3%B3n/Cimentaciones/Problem%C3%A1tica)
- [17] Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante. **“el agua de mar”**. Chile. Disponible en: [http://www.directemar.cl/spmaa/Estudiantes/tareas/agua\\_mar/agua\\_mar.htm](http://www.directemar.cl/spmaa/Estudiantes/tareas/agua_mar/agua_mar.htm)
- [18] Porrero, J; Ramos, C; Grases, J; Velazco, G. **“Manual del Concreto Estructural”**. Primera Edición. Caracas. (2004).
- [19] Winter, G y Nilson, A. **“Hormigón”**. Editorial Reverte S.A. España. (1981).
- [20] CEMEX. **“La Industria del Cemento en Venezuela”**. Folleto informativo. Venezuela. (1994).
- [21] Waddell, J y Dobrowolski, J. **“Manual de la Construcción con Concreto”**. Tercera Edición. Editorial Mac Graw Hill. México. (1997).
- [22] Fratelli, M. **“Reparación de Daños Estructurales”**. Caracas. (1996).
- [23] Pinto, B. **“Fundamentos Prácticos para la Rehabilitación en las Estructuras de Concreto Armado”**. Trabajo de Ascenso, Escuela de Ingeniería y Ciencias



Aplicadas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2006).

- [24] Norma Venezolana COVENIN (3-78). **“Tabelones de Arcilla. Especificaciones”**. Fondonorma. Caracas. (1978).
- [25] Norma Venezolana COVENIN (1756-01). **“Edificaciones Sismorresistentes”**. Fondonorma. Caracas. (2001).
- [26] Norma Venezolana COVENIN (316-2000). **“Barras y Rollos de Acero con Resalte para uso como Refuerzo Estructural”**. Fondonorma. Caracas. (2000).
- [27] Norma COVENIN 1756: **“Edificaciones Sismorresistentes”**. Fondonorma. Caracas. (2001).
- [27] Norma COVENIN 2002-88. **“Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”**. Fondonorma. Caracas. (1988).
- [28] Norma COVENIN 1753-06. **“Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”**. (2006).
- [29] Norma ACI 224: **“Control de la fisuración en estructuras de hormigón”**. (2001).
- [30] Norma ACI 201: **“Guía para la durabilidad del hormigón”**. Segunda Revisión. (2001).
- [31] Norma ACI 318. **“Requisitos de reglamento para concreto estructural”**. (2005).



- [32] González, M. **“La Corrosión del Concreto en Ambiente Marino”**. Perú. (1998). Disponible en: [http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f\\_doc/concreto/MGC57\\_Corrosion.pdf](http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/concreto/MGC57_Corrosion.pdf)
- [33] Sidetur. **“Catalogo de Productos y Tablas de Diseño”**. Caracas. (2004). Disponible en: <http://www.sidetur.com.ve/publicaciones/pdf/Catalogo%20Productos.pdf>
- [34] Bermúdez, M. **“Corrosión de las Armaduras del Hormigón Armado en Ambiente Marino: Zona de Carreras de Mareas y Zona Sumergida”**. Madrid. (2007). Disponible en: [http://oa.upm.es/885/01/MIGUEL\\_ANGEL\\_BERMUDEZ\\_ODRIOZOL.pdf](http://oa.upm.es/885/01/MIGUEL_ANGEL_BERMUDEZ_ODRIOZOL.pdf)



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	"DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO EN VIVIENDAS DE ZONAS COSTERAS POR ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LA CONURBACIÓN BARCELONA, LECHERIA, PUERTO LA CRUZ Y GUANTA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI"
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Escalante D, Sara P.	CVLAC: 17.237.499 E MAIL: saripauli@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Concreto Armado, Zonas Costeras, Corrosión, Carbonatación

Durabilidad del Concreto.

---

---

---

---

---

---



## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>ÀREA</b>	<b>SUBÀREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

Con el fin de prolongar la vida útil de las estructuras observadas es necesario un mantenimiento periódico. El presente trabajo basa su investigación en la evaluación patológica de viviendas ubicadas en la Conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta, Estado Anzoátegui. Dicho diagnóstico comprende la inspección, descripción de los daños y la aplicación de ensayos en cada estructura en estudio. Las inspecciones se realizaron a través de visitas técnicas a viviendas ubicadas en la Conurbación escogida, registrando fotográficamente los daños observados. Se realizaron ensayos de Carbonatación, monitoreo de corrosión, monitoreo de agrietamientos y ensayo a tracción al acero de refuerzo. En esta Conurbación se encontraron viviendas que presentaban enfermedades y diversos daños que a mediano plazo no afectarían su vida útil, a excepción de la vivienda ubicada en Lechería que presenta un alto deterioro de los elementos que la conforman, entre ellos: columnas, vigas, losas. Al finalizar el trabajo de campo se propusieron las técnicas de reparación más idóneas para cada uno de los síntomas analizados dentro de las que se destacan la técnica de reparación por parcheo. Una vez restauradas las viviendas se recomienda la técnica de inhibidores de corrosión como protección catódica por corriente impresa y protección catódica por ánodos de sacrificio. El método o técnica a emplear depende de la gravedad del problema y de las condiciones internas o externas a las que este expuesta la vivienda. La selección del método de restauración o rehabilitación también dependerá de los recursos económicos, humanos y tecnológicos del que se disponga.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Prof. Pinto Blas</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input checked="" type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC:</b>	5.487.446			
	<b>E_MAIL</b>	blasoctaviopinto@gmail.com			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Prof. Velásquez Gerónimo</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC:</b>	4.012.752			
	<b>E_MAIL</b>	geronimovelasquez@gmail.com			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Prof. Sosa José</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC:</b>	15.679.474			
	<b>E_MAIL</b>	josealejandro81@gmail.com			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2010</b>	<b>01</b>	<b>21</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Durabilidad del Concreto Armado en	Application/msword
Viviendas.doc	

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H  
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x  
y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Civil

---

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pre-Grado

---

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Civil

---

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajo de grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizado para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

**AUTOR**

Sara P. Escalante D.

**AUTOR**

**TUTOR**                      **JURADO**                      **JURADO**  
Prof. Blas Pinto   Prof. Gerónimo Velásquez   Prof. José Sosa

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**

Prof. Saab, Yasser