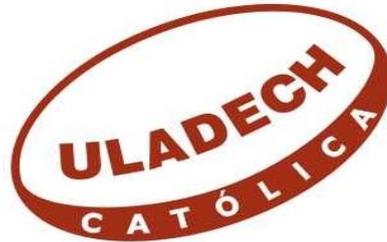


**UNIVERSIDAD CATOLICA LOS ANGELES
DE CHIMBOTE**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL**

**“INFLUENCIA DE LAS PATOLOGIAS EN LA
DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO DE
EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA
CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015”**

**PARA OPTAR EL TITULO
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

BACH. JORGE ANTONIO DEVOTO PATIÑO

ASESOR:

DR.ING. JUAN ASALDE VIVES

**PIURA – PERU
2015**

JURADO EVALUADOR DE TESIS

MGTR. ING. MIGUEL ANGEL CHANG HEREDIA
PRESIDENTE DE JURADO

ING. WILMER OSWALDO CORDOVA CORDOVA
SECRETARIO DE JURADO

ING. GILBERTO REGULO SANCHEZ GAMARRA
MIEMBRO DE JURADO

AGRADECIMIENTO:

A mi país, mi alma mater, a los Catedráticos de la Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote – Filial Piura.

Gracias a Dios, que ha hecho lo posible este nuevo logro en mi vida. Por todo lo que ha puesto en mi camino, porque eso me ha enseñado a vivir mejor.

Es verdad, debemos agradecer a todos y cada uno de los que me ayudaron a llegar al final de una meta. Pero mi agradecimiento especial es para aquellos que me entregaron valores desde mi infancia, con su amor, sus consejos y con su comprensión, mis padres.

Para quien siempre será ejemplo de valentía, mi Padre **Jorge Patiño Briceño**; A aquella que siempre será ejemplo de prudencia, aquella que siempre decía que debía ser el mejor, el primero en todo lo que emprendiera, aquella que me hizo ser perseverante en la virtud de la superación, mi Madre **Juana Rosa Peña Puestas**.

A mi Madre **Mercedes Milagros Patiño Peña**, por darme una hermosa herencia de darme una carrera para mi futuro; siendo para mí y para mis hermanos padre y madre por su gran esfuerzo por darnos lo mejor y darnos una herencia especial que siempre nos durará el “estudio”, a pesar que hemos pasado momentos difíciles siempre nos apoyado y brindándonos su amor.

A mis hermanos, **Miguel Devoto Patiño** y **Milagros Montenegro Patiño**, fieles y divertidos únicos amigos en mi vida que siempre me sacaron risas y enojos, y que siempre me apoyarán en todo, como yo hacia ellos.

Agradeciendo también a mi Padre Político **Julio Johnny Montenegro Quiroz** por su entrega, ayuda y apoyo incondicional de padre y estar cuando más lo necesitaba en toda mi vida.

A mi Esposa **Hermelinda Ruesta Carmen**, por enseñarme con su amor que hasta el agua del mar puede ser dulce en este océano de alegrías y tristezas que muchos llamamos vida.

A mi Hijo **Jorge Alejandro Devoto Ruesta**, por ser mi pequeño angelito y mi fuerza para salir adelante en todo.

A mis Tíos; Suboficial PNP **Cristhiam Alexander Patiño Peña**, Obst. **Gladys Rodayma Patiño Peña**, Dr. **Néstor Herminio Purizaga Izquierdo**, por todos sus consejos y ayudas que siempre me brindaron.

Dedicatoria:

A Dios, a mi madre Milagros, mis hermanos, a mis padres Jorge y Juana, a mi esposa e hijo y a mi Padre político Jhony.

A ellos por darme el apoyo y la oportunidad de realizarme profesionalmente en mi vida

RESUMEN

La durabilidad de concreto expuesto a un ambiente marino es uno de los temas poco abordados en la actualidad a nivel nacional y de gran importancia por el número de estructuras que se construyen en este ambiente. Perú posee un amplio en el Océano Pacífico cuyo ambiente ha sido poco estudiado a través de parámetros que lo definan y relacionen con la durabilidad de las estructuras de concreto.

En este ámbito, es de interés en esta tesis el aportar conocimientos, aunque breves y específicos para una zona del Océano Pacífico, del comportamiento de concreto expuesto a un ambiente marino y por la acción del medio ambiente, particularmente en el Puerto de Paita, Perú. El objetivo principal consistió en evaluar la durabilidad de vigas de concreto ordinario expuestas a ambiente marino y por el acción del medio ambiente, mediante la determinación del nivel de agresividad del ambiente de exposición, de los parámetros de absorción capilar y del Coeficiente de Difusión de cloruros, para obtener un modelo de predicción de vida útil de servicio del concreto.

Desde el inicio y durante el desarrollo de este trabajo se ha realizado una investigación bibliográfica y revisión de literatura sobre los temas de durabilidad del concreto, vida útil de servicio, absorción capilar, proceso de penetración de cloruros en el concreto, que se resume en el marco teórico de la tesis.

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 ciudad de Paita, Paita Bajo, Puerto de Paita. 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 ciudad de Paita 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.

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.

En general el estudio a realizarse será del tipo descriptivo, analítica, no experimental, y de corte longitudinal.

La evaluación realizada fue de tipo mixta parte visual y otra de verificación de los datos tomados.

ABSTRACT

The durability of concrete exposed to a marine environment is one of the issues currently little addressed at national level and of great importance by the number of structures built in this environment. Peru has a large Pacific Ocean whose environment has been little studied by parameters that define and relate to the durability of concrete structures.

In this context, it is of interest in this thesis provide knowledge, though brief and specific to an area of the Pacific Ocean, the behavior of concrete exposed to a marine environment and action of the environment, particularly in the port of Paita, Peru . The main objective was to evaluate the durability of ordinary concrete beams exposed to marine environment and the environmental action, by determining the level of aggressiveness of the environment exposure, the parameters of capillary absorption and chloride diffusion coefficient to obtain a prediction model of service life of concrete.

From the beginning and during the course of this work it has conducted a literature search and review of literature on the topics of concrete durability, service life, wicking, penetration process of chlorides in concrete, which is summarized in the theoretical framework of the thesis.

In order to prolong the life of the observed structures periodic maintenance necessary. This paper bases its research on pathologic evaluation of houses in the city of Paita, Paita Under, Port of Paita. This diagnosis includes inspection, description of the damage and the implementation of trials in each structure under study. The inspections were conducted by technical visits to homes located in the city of Paita chosen, photographically recording the damage observed. Carbonation testing, corrosion monitoring, monitoring cracks and tensile test to reinforcing steel were performed.

At the end of fieldwork techniques most suitable for each of the symptoms analyzed within which they include the repair technique proposed by patching repair. Once restored housing technique corrosion inhibitors as cathodic protection is recommended and impressed current cathodic protection by sacrificial anodes. The method or technique to be used depends on the severity of the problem and internal or external conditions to which housing is exposed. The choice of method of restoration or rehabilitation will also depend on the economic, human and technological resources that are available.

Overall the study to be performed the descriptive, analytical, not experimental, and slitting.

The assessment was mixed type part and a visual check of the data collected.

CONTENIDO

TITULO	I
FIRMA DEL JURADO Y ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VII
CONTENIDO	IX
INDICE DE GRAFICOS, TABLAS Y CUADROS	XI
I. INTRODUCCION	01
II. REVISION DE LITERATURA	05
2.1. ANTECEDENTES.....	05
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	05
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	07
2.2. BASES TEORICAS.....	08
2.2.1. CONCEPTOS BASICOS DE DURABILIDAD.....	08
2.2.2. PATOLOGIA ESTRUCTURAL.....	13
2.2.3. CONCRETO ARMADO.....	14
2.2.4. EL AMBIENTE MARINO EN EL PERÚ.....	30

III. METODOLOGIA.....	38
3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	38
3.2. POBLACION Y MUESTRA.....	39
3.3. DEFINICION Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.....	40
3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	42
3.5. PLAN DE ANALISIS.....	43
3.6. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	48
3.7. PRINCIPIOS ETICOS.....	49
IV. RESULTADOS.....	50
4.1 RESULTADOS.....	50
4.1.1. EVALUACION DE DAÑOS ESTRUCTURALES EN VIVIENDAS Y MUELLE FISCAL DE PAITA.....	50
4.1.1.1. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA.....	50
4.1.1.2. DESCRIPCION DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	51
4.1.1.3. CUADROS CLINICOS DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA VIVIENDAS.....	54
4.1.1.4. PORCENTUAL DE LOS DAÑOS PRESENTES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	58
4.1.1.5. CUADROS CLINICOS DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL MUELLE FISCAL DE PAITA.....	59
4.1.1.6. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS DAÑOS PRESENTES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL MUELLE FISCAL DE PAITA.....	62

V.	CONCLUSIONES.....	63
	5.1. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS.....	64
	5.2. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
	5.3. ANEXOS.....	69
VI.	INDICE DE GRAFICOS, TABLAS Y CUADROS	
	6.1. INDICE DE GRAFICOS	
	GRAFICO 1: <i>Fotografía de una columna del Muelle Fiscal de Paita en donde se observaron grietas producto de la corrosión del acero de refuerzo.....</i>	<i>09</i>
	GRAFICO 2: <i>Estado que presenta una columna de un puente peatonal en donde se aprecia el daño tan avanzado de la columna producto de la corrosión de la varilla de refuerzo.....</i>	<i>11</i>
	GRAFICO 3: <i>Modelo de durabilidad.....</i>	<i>12</i>
	GRAFICO 4: <i>Acero.....</i>	<i>18</i>
	GRAFICO 5: <i>La corrosión ha provocado el desprendimiento del recubrimiento de concreto causando la visibilidad y la Vulnerabilidad de las armaduras de la viga.....</i>	<i>20</i>
	GRAFICA 6: <i>Proceso de carbonatación.....</i>	<i>25</i>
	GRAFICO 7: <i>Tipos de corrosión de armaduras de concreto.....</i>	<i>29</i>
	GRAFICO 8: <i>Corrosión de las armaduras en el concreto.....</i>	<i>29</i>
	GRAFICO 9: <i>Zona de salpicadura – corrosión del acero.....</i>	<i>34</i>
	GRAFICO 10: <i>Ubicación de las zona de acuerdo a las condiciones agresivas del ambiente marino.....</i>	<i>36</i>
	GRAFICO 11: <i>Plano de sectorización para muestreos.....</i>	<i>40</i>
	GRAFICO 12: <i>Desprendimiento del material en las columna.....</i>	<i>51</i>
	GRAFICO 13: <i>Desprendimiento del concreto en la viga.....</i>	<i>51</i>
	GRAFICO 14: <i>Desprendimiento del material. Grietas horizontales y verticales.....</i>	<i>52</i>
	GRAFICO 15: <i>Grietas verticales y desprendimiento de material en losa.....</i>	<i>52</i>

GRAFICO 16: <i>Desconchamiento de ladrillo</i>	53
GRAFICO 17: <i>Grieta en muro de ladrillo</i>	53
GRAFICO 18: <i>Presencia de Humedad en muro de ladrillo</i>	54
GRAFICO 19: <i>Porcentaje de Daños en Columnas</i>	58
GRAFICO 20: <i>Porcentaje de Daños en Vigas</i>	58
GRAFICO 21: <i>Porcentaje de Daños en Losas</i>	59
GRAFICO 22: <i>Porcentaje de Daños Del Muelle Fiscal de Paita</i>	62
GRAFICO 23: <i>Informe de análisis de estudio de Arena</i>	71
GRAFICO 24: <i>Mapa de la Ubicación del Muelle Fiscal y Viviendas cercanas al mar</i>	72
GRAFICO 25: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero</i> ...73	
GRAFICO 26: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero</i> ...73	
GRAFICO 27: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero</i> ...74	
GRAFICO 28: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero</i> ...74	
GRAFICO 29: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero</i> ...75	
GRAFICO 30: <i>Corrosión de acero de la junta de la plataforma de concreto</i>75	
GRAFICO 31: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero</i> ...76	
GRAFICO 32: <i>Corrosión de acero plataforma de concreto</i>76	
GRAFICO 33: <i>Grietas horizontales y verticales de la viga</i>77	
GRAFICO 34: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero de un puente peatonal</i>77	
GRAFICO 35: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero de un puente peatonal</i>78	
GRAFICO 36: <i>Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero de un puente peatonal</i>78	
GRAFICO 37: <i>Desconchamiento de ladrillo</i>79	
GRAFICO 38: <i>Desconchamiento de ladrillo</i>79	
GRAFICO 39: <i>Presencia de sal impregnada en los poros del material ladrillo, concreto, acero</i>	80

GRAFICO 40: <i>Presencia de sal impregnada en los poros del material ladrillo, concreto, acero</i>	80
GRAFICO 41: <i>Grieta en muro de ladrillos</i>	81
GRAFICO 42: <i>Grieta en muro de ladrillos</i>	81
GRAFICO 43: <i>Grieta en muro</i>	82
GRAFICO 44: <i>Presencia de humedad en muro de ladrillo</i>	82
GRAFICO 45: <i>Presencia de humedad en muro de ladrillo</i>	83
GRAFICO 46: <i>Daño en cimentación por corrosión</i>	83
GRAFICO 47: <i>Presencia de sal impregnada en el cimiento</i>	84
GRAFICO 48: <i>Presencia de sal impregnada en el cimiento</i>	84
GRAFICO 49: <i>Daño en cimentación por corrosión</i>	85
GRAFICO 50: <i>Daño en cimentación por corrosión</i>	85
GRAFICO 51: <i>Grieta horizontales y verticales en la viga</i>	86
GRAFICO 52: <i>Grieta horizontales y verticales en la viga</i>	86
GRAFICO 53: <i>Desprendimiento del concreto en la viga</i>	87
GRAFICO 54: <i>Desprendimiento del concreto en losa</i>	87
GRAFICO 55: <i>Desprendimiento del concreto en muro</i>	88
GRAFICO 56: <i>Desprendimiento del material en las columnas</i>	88

6.2. INDICE DE TABLAS

TABLA 1: <i>Dosificación de la mezcla sin calcinar</i>	15
TABLA 2: <i>Contenido de clinker y yeso en el cemento</i>	15
TABLA 3: <i>Compuestos del cemento</i>	15
TABLA 4: <i>Tipos de cemento portland</i>	16
TABLA 5: <i>Óxidos químicos del cemento portland</i>	17
TABLA 6: <i>Durabilidad del concreto: agentes y factores</i>	21
TABLA 7: <i>Constituyentes principales del agua de mar</i>	30
TABLA 8: <i>Composición química del agua de mar</i>	31
TABLA 9: <i>Contenido del ion cloruro y salinidad total en el agua de mar</i>	31
TABLA 10: <i>Temperatura y humedad en centros urbanos del litoral</i>	32
TABLA 11: <i>Dirección predominante y velocidad media del viento</i>	32

6.3. INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: <i>Método de diseño</i>	39
CUADRO 2: <i>Cuadro de Operacionalización de la variable</i>	41
CUADRO 3: <i>Cuadro de matriz de consistencia</i>	48
CUADRO 4: <i>Clasificación de los daños en columnas</i>	54
CUADRO 5: <i>Daños en Columnas, viviendas ubicadas cercanas al mar</i>	55
CUADRO 6: <i>Clasificación de los daños en vigas</i>	56
CUADRO 7: <i>Daños en Vigas, viviendas ubicadas cercanas al mar</i>	56
CUADRO 8: <i>Clasificación de los daños en losas</i>	57
CUADRO 9: <i>Daños en losas, viviendas ubicadas cercanas al mar</i>	57
CUADRO 10: <i>Clasificación de Daños en losas</i>	59
CUADRO 11: <i>Daños en columnas, Muelle Fiscal de Paita</i>	60
CUADRO 12: <i>Clasificación de los daños en vigas</i>	60
CUADRO 13: <i>Daños en Vigas, Muelle Fiscal de Paita</i>	61
CUADRO 14: <i>Clasificación de los daños en losas</i>	61
CUADRO 15: <i>Daños en losas, Muelle Fiscal de Paita</i>	62

I. INTRODUCCION

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 aún 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 ataque y desintegración del concreto bajo la influencia de sustancias agresivas que se pueden encontrar en forma de líquidos, vapores o materia sólida, es aún en nuestros días un fenómeno no del todo bien entendido. El estudio del deterioro de las estructuras de concreto ha tomado un interés particular a partir de los años cincuenta, situación que puede tener diferentes motivos, de entre los cuales se pueden citar la creciente construcción de estructuras de concreto, la necesidad de reparar lo antes construido, la falla de estructuras en forma prematura, etc.

Los daños a los que está expuesta cualquier estructura se pueden clasificar en forma muy general en dos grupos: Daños de carácter mecánico y Daños de carácter químico. Esta clasificación se realiza tomando como referencia la principal influencia de las degradaciones en una estructura, sin embargo es pertinente tener siempre presente que la relación entre los dos es muy íntima. De los mecanismos de degradación sin lugar a dudas los más complicados por entender son los de carácter químico, debido a que no sólo es necesario entender el comportamiento del concreto como material único, sino también, la relación de éste con el acero que lo refuerza y con los diferentes ambientes a que está sujeto.

Importante es señalar que las continuas fallas estructurales encontradas en edificaciones, son provocadas por los altos niveles de salinidad y humedad con los que cuenta el ambiente. Debido a que el concreto tiene poros intercomunicados y es penetrado por elementos corrosivos como el agua, oxígeno, iones de cloro, dióxido de carbono y otros gases, se produce un contacto con el acero y comienza la corrosión.

Al corroerse el acero se hace más voluminoso debido a los productos de la corrosión, lo que genera tensiones sobre el concreto circundante y provocan su agrietamiento y fragmentación. Cuando esto sucede, la capacidad estructural del elemento se ve amenazada y es necesario hacer reparaciones costosas para recuperarlo.

Hoy en día las construcciones que se encuentran en desarrollo son sometidas a controles de calidad rigurosos con el fin de obtener obras de calidad, capaces de soportar las embestidas de los agentes climáticos imperantes en el puerto, sin olvidar también que el aspecto del mantenimiento de las estructuras se ha venido reforzando con el objetivo de que las estructuras tengan mayor durabilidad y se mantengan en buen estado.

Es así que este proyecto se propone conocer con datos reales de diferentes edificaciones de la Provincia de Paita, hasta obtener el nivel de vulnerabilidad y daños patológicos de la vivienda.

Por todo lo anterior es necesario un estudio que considere el clima imperante en la ciudad de Paita - Piura, el cual propicia factores negativos a las estructuras de concreto armado. La salinidad y humedad encontrada en el medio ambiente afecta las construcciones, traduciéndose lo anterior, en elementos estructurales de baja resistencia en su concreto, corrosión en el acero de refuerzo y por lo tanto, disminución de la vida útil de las edificaciones.

El análisis y diseño estructural de los especialistas se ve perjudicado en su afán por alcanzar el objetivo de seguridad estructural, ya que no se obtienen los valores finales, inicialmente planteados. Además, es importante señalar que los inmuebles localizados en la costa, afectados por las condiciones anteriormente señaladas, sufren deterioros y por ende pérdida de valor que afecta la economía de los propietarios.

Por lo anteriormente expresado, el enunciado del problema de investigación es: ***¿En qué medida la evaluación de las patologías definirá la durabilidad del concreto armado en las edificaciones de la zona costera Paita Piura, y proponiendo recomendaciones se evitará la presencia de futuras patologías?***

Para dar respuesta al problema, se planteó que el objetivo general de esta investigación es identificar, evaluar y determinar las anomalías patológicas, que se representan en los elementos estructurales de las edificaciones y plantear alternativas de solución para su rehabilitación y/o mantenimiento, aplicando metodologías de ingeniería, y así mismo poder contribuir con el desarrollo de nuestra localidad y del país.

Para lograr llegar al objetivo general, se planteó los siguientes objetivos específicos:

- a) Estudiar las causas que originan los daños estructurales de edificaciones en zonas cercanas al mar.
- b) Evaluar los efectos de las patologías y su influencia en la durabilidad del concreto armado de las estructuras en estudio.
- c) Comparar la durabilidad del concreto armado con las características del ambiente agresivo y un ambiente en zona no costera.

- d) Proponer una solución de reparación estructural y ampliar la vida útil de los elementos dañados por corrosión en las estructuras.

La presente investigación se justifica y nos permite determinar la presencia de patologías de concreto armado en las edificaciones que existen en la Ciudad de Paita – Piura. A través del grado de afectación (tipo de patología) clase de daño, nivel de severidad y densidad que se tiene sobre la condición del concreto, permitirá la toma de decisiones en su rehabilitación o reconstrucción

Este Proyecto servirá como un aporte a las viviendas de concreto armado y a nivel Distrital, el que permitirá tener un mayor control de mantenimiento del concreto armado. Evitar daños en el futuro tomando en cuenta los reglamentos nacionales de construcción y de edificación y con el apoyo y orientación de un profesional en el futuro.

Por lo tanto la investigación de la influencia de las patologías en la durabilidad del concreto armado de edificaciones en zonas cercanas al mar en la ciudad de Paita es necesaria para evitar patologías futuras y los profesionales relacionados que se interesen en este campo tendrán una base para una guía en estos tipos de construcciones.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Torres Acosta, Andrés A. ¹Considera que En los últimos veinte años el término “durabilidad” se ha estado escuchando con más frecuencia en la rama de la ingeniería civil. Países industrializados como los EEUU y algunos en Europa (España, Francia, Gran Bretaña, etc.), al igual que Japón, han tomado a la durabilidad como un tema de gran importancia, invirtiendo sumas millonarias en estudios de investigación específicos.

Hace poco tiempo, aproximadamente una década, estos países han estado intentando incluir en sus códigos de diseño recomendaciones básicas para obtener un mejor uso de los materiales y así poder fabricar estructuras más durables. El principio fundamental de estas recomendaciones ha sido proporcionar las bases para el diseño por durabilidad de estructuras bajo condiciones ambientales diversas. Aunque innovadoras en su época, estas recomendaciones no contemplan la determinación directa de la durabilidad, sino proporcionan las reglas de ‘que se debe y no hacerse’ para obtener estructuras durables a diversos agentes externos.

En Latinoamérica un esfuerzo similar se realizó en el año 1997 al presentarse el reporte de la Red Temática DURAR, en el cual se presentaron algunos conceptos básicos sobre evaluación, mantenimiento, reparación y/o rehabilitación de obras de concreto armado dañadas principalmente por corrosión de la armadura (barras de refuerzo).

No es hasta el año 1996 cuando en el reporte técnico 130-CSL de la RILEM, “Durability Design of Concrete Structures,” se propuso una metodología más completa sobre el tema de diseño por durabilidad. Este reporte (único en su género), se enfocó principalmente a asociar, por un lado, el diseño estructural por carga última y revisar las dimensiones diseñadas por durabilidad. Este reporte estipula que: “Las estructuras deben de ser diseñadas de tal manera que su nivel mínimo de confiabilidad se asegure durante la vida útil propuesta, a pesar de degradaciones y envejecimiento de los materiales.” Una oración que al juicio del presente autor podría definir exactamente al concepto de durabilidad.

Es de primordial importancia cambiar la mentalidad del ingeniero (en particular del ingeniero civil) con relación al diseño de una estructura, o elemento estructural: es necesario el diseño por cargas y por durabilidad conjuntamente para generar estructuras con una relación de costo/beneficio rentable. Este trabajo presenta la metodología para el diseño por durabilidad de estructuras de concreto expuestas a un ambiente marino. Se pretende que este trabajo sirva también para iniciar al ingeniero civil o estructurista en el ‘arte’ de selección de un concreto (o propiedades de la mezcla del concreto) y obtener así un elemento estructural cuya vida útil se maximice.

ASTUDILLO FANNY²: En el año 2006, 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.

OSPINA JULIO³ : En el año 2005, 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.

ÁLVAREZ ANNA Y VELTRI⁴ : En el año 2002, 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.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Ávila Mezarino, Yoji Hobberg⁸ – **Ancash⁵** indica que: La mayoría de las estructuras de concreto armado en el medio marino muestra señales de la degradación resultante de la corrosión en el refuerzo por la presencia de cloruros. En algunos casos, la degradación es visible unos pocos años después de la construcción de la estructura. Aunque el medio ambiente marítimo es extremadamente severo, hay otros factores que afectan las degradaciones prematuras del hormigón, como la mala calidad de la construcción debido a la falta de mano de obra especializadas, las normas deficientes, proyectos debido a la falta de información sobre los parámetros que influyen en el proceso de degradación. Si bien las normas, en general, están mejorando, con la tendencia a confiar cada vez más en los requisitos de desempeño, es necesario para ayudar al diseñador en la especificación de la durabilidad de la estructura. En este trabajo se buscara de la información existente, datos para entender mejor las causas que originan las patologías en estructuras de concreto armado en el medio marino, específicamente en los muelles portuarios. En varios muelles portuarios de la región **Ancash-Perú**, se han observado diferentes patologías debido principalmente a su ubicación en un entorno altamente agresivo, a ello se suma la antigüedad de dichas estructuras y su falta de mantenimiento o mala práctica del mismo.

En este trabajo final de máster se plantea un estudio particularizado de tal tipo de patologías estructurales, indicando también una propuesta de inspección preliminar, así como plantear sistemas de reparación para la aplicación en dicho entorno marino. Todos esos aspectos aplicados posteriormente al caso particular de muelles operativos existentes en la región Ancash. Sabemos que la buena práctica constructiva depende la durabilidad de una estructura más aun en ambiente marino, algunos muelles en **Perú** tiene mucha antigüedad, alrededor de 50 años o 40 años de edad, por lo que urgen de actuaciones para alargar su vida útil y seguir prestando servicio vista esta necesidad vi por conveniente hacer este trabajo de fin de máster con relación a ello y contribuir de alguna manera informar a las personas interesadas de los diverso tipos de patologías que pueden existir en estructuras de concreto armado como es el caso de los muelles portuarios.

2.2. BASES TEÓRICAS

El concreto hidráulico preparado con cemento portland es de apariencia simple pero de una naturaleza interna muy compleja, su constitución es básicamente agregados pétreos, agua y cemento. En la relación química de hidratación entre el agua y el cemento se forman silicatos hidratados de calcio que se enlazan y endurecen en un solo conjunto con los agregados, dando como resultado un material con apariencia similar al de una roca. Adicionalmente a los componentes principales se emplean aditivos químicos, minerales o naturales para obtener características específicas, como alta resistencia, muy alta resistencia, baja permeabilidad, resistencias a edades tempranas, concretos fluidos, también llamados auto-consolidantes.

El propósito de este trabajo es básicamente el reunir los conocimientos de investigaciones recientes en durabilidad del concreto en ambiente marino y transferir esta información para incluir un ‘modelo de durabilidad’ al diseño estructural del elemento de concreto.

2.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE DURABILIDAD

2.2.1.1.FUNCIONALIDAD Y DURABILIDAD

La funcionalidad es una cantidad cuantificable que está en función de la capacidad de carga de la estructura. La funcionalidad (o capacidad de carga) se cuantificará en este estudio basándose en el tiempo que se pretende dure la estructura. Cuando el concepto tiempo entra en juego en la evaluación de la funcionalidad de una estructura, varios factores externos (o factores de degradación) resultan en un primer plano. Como la funcionalidad está íntimamente relacionada con la durabilidad de una estructura, ésta se puede definir como la habilidad de mantener la funcionalidad requerida.

2.2.1.2.DEGRADACIÓN

El concepto de degradación es, por definición, el decremento gradual de la funcionalidad de la estructura con el tiempo. Se puede cuantificar a la degradación como el inverso de la funcionalidad.

2.2.1.3.VIDA ÚTIL

Una definición clara para el concepto de vida útil de una estructura: “periodo en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento.” Es decir si la estructura careciera de cualquiera de estas tres propiedades (seguridad, funcionalidad y estética), ésta ya sobrepasó el periodo de su vida útil.

Como un ejemplo se presenta en el Grafico 1, una fotografía tomada de la subestructura del Muelle Fiscal de Paita, la cual presenta fisuras o grietas en la superficie del concreto en una zapata. Estas grietas aparentemente fueron producidas por que las barras de refuerzo ya se encontraban corroyéndose.



GRAFICO 1. Fotografía de una columna del Muelle Fiscal de Paita en donde se observaron grietas producto de la corrosión del acero de refuerzo.

Fuente: Propia

2.2.1.4.VIDA RESIDUAL

“Se entiende por vida residual el tiempo a partir del momento que la estructura alcanza el anterior límite aceptable (fin de la vida útil).” Este es el periodo en el que la estructura necesitaría reparación, remodelación o completa renovación para que regrese a su estado de servicio original; esto es que sea segura, funcional y estética. En pocas palabras, la etapa de vida residual es el tiempo que tiene el dueño de la estructura, o elemento estructural, para repararla antes que la degradación avance hasta el límite de posible colapso.

Un ejemplo de este estado límite se presenta en el Gráfico N° 01, la cual fue tomada de una columna de un puente peatonal a una distancia de 40 metros cerca del mar. La columna mostrada presenta desprendimiento notorio del recubrimiento, producido por la corrosión severa de la varilla de refuerzo. Por definición esta columna se encuentra más allá de su vida útil, ya que la degradación que presenta esta más allá de una simple grieta o mancha de óxido. Esta degradación inclusive puede ser suficiente para producir una falla local en ese puente. Una reparación es inminente antes de que se produzca un colapso (o falla) de la columna.

La columna mostrada presenta desprendimiento notorio del recubrimiento, producido por la corrosión severa de la varilla de refuerzo. Por definición esta columna se encuentra más allá de su vida útil, ya que la degradación que presenta esta más allá de una simple grieta o mancha de óxido. Esta degradación inclusive puede ser suficiente para producir una falla local en ese puente. Una reparación es inminente antes de que se produzca un colapso (o falla) de la columna.

2.2.1.5.ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (ELS) Y ESTADO LÍMITE ULTIMO (ELU)

Los valores mínimos de servicio (o valores máximos aceptables de degradación) son llamados los estados límites de la durabilidad de una estructura. Estos son principalmente dos: 1) estado límite de servicio (ELS) y 2) el estado límite último (ELU).

El primero (ELS) correspondería al punto en el tiempo el cual la estructura ha llegado a su vida útil, o sea, “es el estado en el cual los requerimientos de servicio de una estructura o elemento estructural (seguridad, funcionalidad y estética) ya no se cumplen”. En esta imagen del Gráfico 2, la columna, el ELS será el tiempo en el que la manifestación de daños externos por la formación de grietas con ancho no mayor a 0.1mm es visible.



GRAFICO 2. Estado que presenta una columna de un puente peatonal en donde se aprecia el daño tan avanzado de la columna producto de la corrosión de la varilla de refuerzo
Fuente: propia

El ELU, en el segundo caso, es el estado en que la estructura o elemento estructural “se encuentra asociado con colapso u otra forma similar de falla estructural.” En este reporte, se define al ELU como al tiempo en el cual la estructura llega a un estado de degradación inaceptable antes de que sufra un colapso inminente: $ELU < TCOLAPSO$.

2.2.1.6. PROBABILIDAD DE FALLA

La probabilidad de falla se podría definir como la probabilidad de exceder cierto estado límite, ya sea el ELS o el ELU. El término ‘falla por durabilidad’ es usado cuando existe una falla por degradación del material en una estructura o elemento estructural, en comparación de ‘falla mecánica,’ la cual es causada por cargas mecánicas externas. Es importante notar que la falla por durabilidad podría generar una falla mecánica.

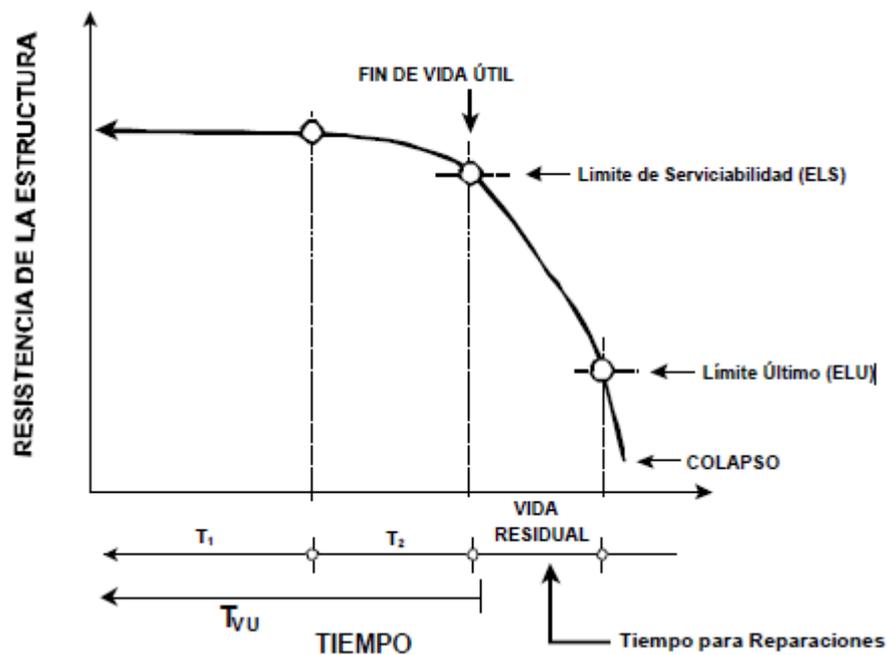


GRAFICO 3. Modelo de durabilidad

Fuente: Wikipedia

Las grietas y fisuras, las cuales por sus condiciones superficiales de aspecto inciden directamente en lo funcional, siendo esta una de las razones de más peso en la durabilidad en una estructura y es por ello, que como parte del cálculo estructural, las grietas y fisuras clasifican dentro de los estados límites de servicio. De ahí, que, el establecer un correcto diagnóstico que va desde su identificación hasta las causas que lo originan, permitirá a proyectistas constructores y productores de materiales no solo minimizar o erradicar su efecto por medio de su reparación sino tomar las medidas profilácticas preventiva pasara eliminar o disminuir su aparición

2.2.2. 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.

2.2.2.1.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.

2.2.3. 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.

2.2.3.1.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 (CaCO_3) el cual aporta el óxido de calcio (CaO) cuando se descompone mediante el calor. La arcilla aporta principalmente el óxido de aluminio o alúmina (Al_2O_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 (SiO_2) y el mineral de hierro, óxido férrico (Fe_2O_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.

La dosificación aproximada es la siguiente:

TABLA 1. DOSIFICACION DE LA MEZCLA SIN CALCINAR

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

Fuente: Wikipedia

TABLA 2. CONTENIDO DE CLINKER Y YESO EN EL CEMENTO

Cemento	
Clinker	9 al 96%
Yeso	4 al 5%

Fuente: Wikipedia

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

TABLA 3. COMPUESTOS DEL CEMENTO

COMPUESTO	FORMULA	ABREVIATURA
Silicato Dicálcico	$2\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$	C2S
Silicato Tricálcico	$3\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$	C3S
Aluminato Tricálcico	$3\text{Ca} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Ferrito Aluminato	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF

Fuente: Wikipedia

En el mercado Peruano existen diferentes tipos de cemento entre los cuales el más conocido y utilizado en la construcción es el tipo Portland 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 Perú los tipos de cementos comercializados son: el Tipo I, Tipo II y Tipo III, aunque también están el Tipo IV y Tipo V (Tabla 4).

TABLA 4. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Cemento	Uso
Tipo I	Cemento de uso general.
Tipo II	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.
Tipo III	Cemento de alta resistencia a temprana edad y rápido fraguado. Es usado cuando se requiere alcanzar una elevada resistencia en pocos días.
Tipo IV	Presenta un calor de hidratación más bajo que el tipo III, se utiliza en construcciones de concreto masivo.
Tipo V	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.

Fuente: Wikipedia

TABLA 5. OXIDOS QUIMICOS DEL CEMENTO PORTLAND

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

Fuente: Wikipedia

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 alambión, a partir de la cual se obtiene la malla electro soldada.

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.”

En Perú, el más general de los refuerzos, es el que elabora con barras de acero estriadas, conocidas como varilla (Gráfico N° 4). Las barras de superficie lisa se emplean más que todo para carpintería metálica, como cerramientos de balcones, rejas, ventanales, etc.



GRAFICO 4. Acero

Fuente: Wikipedia

2.2.3.2.PATOLOGÍA 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.

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 de protección positivos.



GRAFICO 5. La corrosión ha provocado el desprendimiento del recubrimiento de concreto causando la visibilidad y la vulnerabilidad de las armaduras de la viga.

Fuente: Propia

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.

TABLA 6. DURABILIDAD DEL CONCRETO: AGENTES Y FACTORES

Durabilidad del concreto: agentes y factores	
Agentes atmosféricos	
Radiación:	Solar Nuclear Térmica
Calor:	Temperaturas elevadas Temperatura bajas Ciclos de temperatura
Agua:	Solida: hielo – nieve Líquida: lluvia – condensación – estancada Vapor: humedad relativa elevada.
Aire:	Componentes normales (N ₂ , O ₂ y agua) Gases: por ejemplo: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y CO ₂ 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
Factores biológicos	
Microorganismos Hongos Bacterias	
Factores de carga	
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	
Factores incompatibles	
Químicos Físicos	
Factores de servicio	
Diseño Instalaciones y procedimiento de mantenimiento Desgastes, abusos	

Fuente: Durabilidad del concreto – Universidad Nacional de Ingeniería

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 y durabilidad. Estas tres características van 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 realiza con el concreto fresco, tales como: el transporte, vertido, compactado, armado, encofrado, etc.

2.2.3.2.1. 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.

2.2.3.2.1.1. ARIDOS

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.

2.2.3.2.1.2. CEMENTO

El cemento puede repercutir en la homogeneidad y compacidad del hormigón. Una de las causas 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.

2.2.3.2.1.3. 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.

2.2.3.2.1.4. ADITIVO

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.

2.2.3.2.1.5. 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.

2.2.3.2.2. 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 adecuado⁶.

2.2.3.2.2.1. PROCESO CORROSIVO DEL CONCRETO

El concreto armado que conforma las estructuras debe reunir no solo condiciones mecánicamente resistentes que le permitan soportar los refuerzos 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 compactados.

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 del concreto armado implican gastos de millones anuales en muchos países⁶.

Tres son las posibles causas de corrosión química del concreto:

- a) Gases contenidos en la atmósfera o humos (CO₂, SO₂, 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.

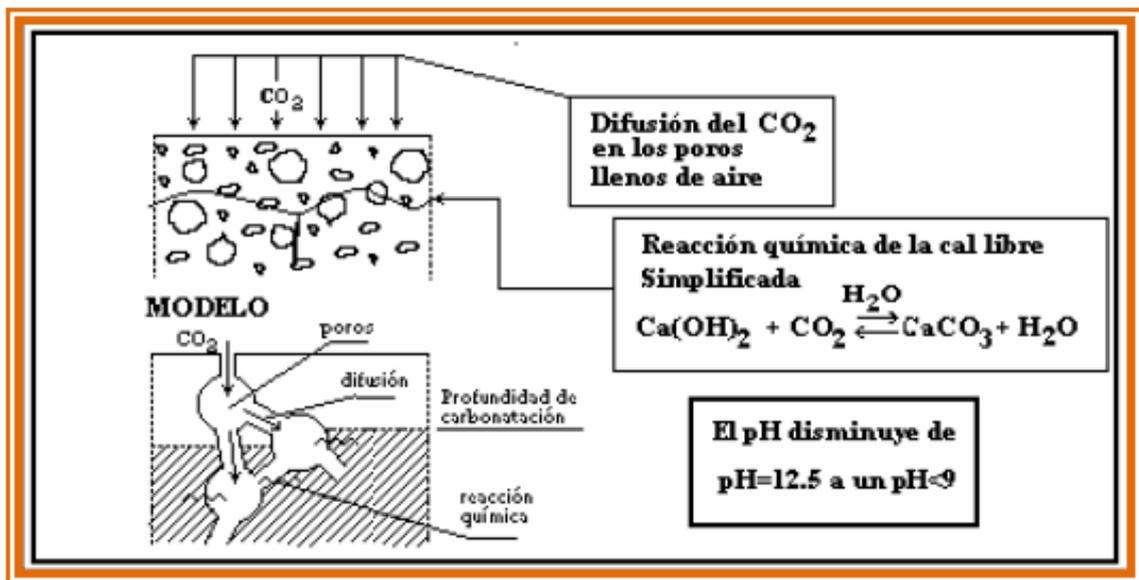


GRAFICO 6. Proceso de carbonatación

Fuente: Wikipedia

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.

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, 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, tiene 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 Portland 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 está 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.

2.2.3.2.3. 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 atmosferas 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.

2.2.3.2.3.1. 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 eléctricas⁶.

2.2.3.2.3.2. 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 lugar⁷.

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. (Grafico 7).

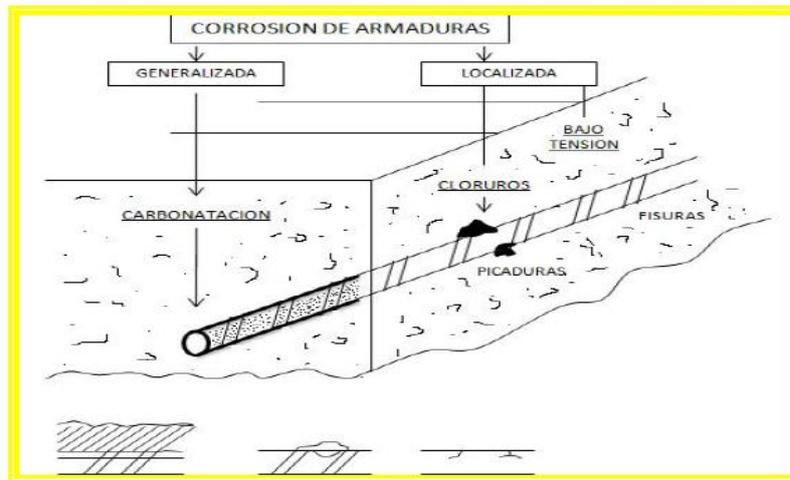


GRAFICO 7. Tipos de corrosión de armaduras de concreto⁷
Fuente: Wikipedia

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 concreto; b) debido a diferencias en la concentración de los iones disueltos cerca del acero, como los álcalis, cloruros o el oxígeno.

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. (Grafico 8)

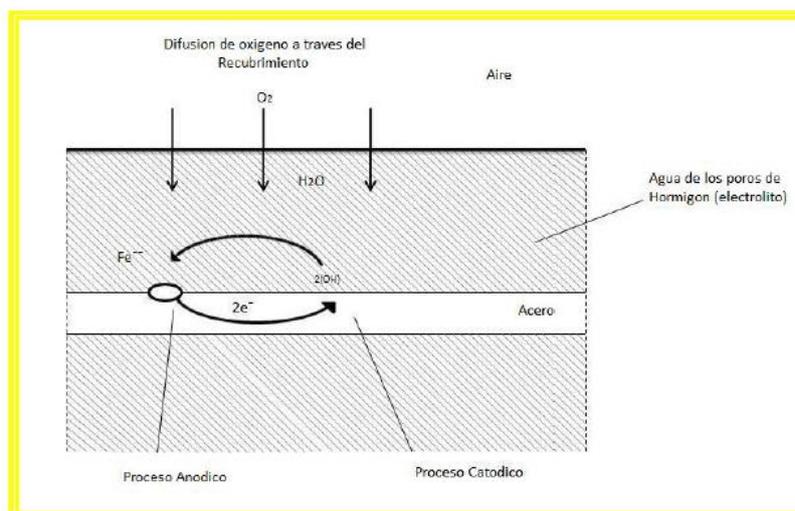


GRAFICO 8. Corrosión de las armaduras en el concreto⁷
Fuente: Propia

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^- .

2.2.4. EL AMBIENTE MARINO EN EL PERÚ

El agua de mar contiene sales disueltas, agresivas para el concreto. Están presentes las siguientes: cloruro sódico (NaCl), cloruro magnésico (MgCl_2), sulfato magnésico (MgSO_4), sulfato cálcico (CaSO_4), cloruro potásico (KCl) y sulfato potásico (K_2SO_4).

TABLA 7. CONSTITUYENTES PRINCIPALES DEL AGUA DE MAR.

Constituyente	Símbolo	g/kg en agua de mar	% por peso
Cloruro	Cl^-	19.35	55.07
Sodio	Na^+	10.76	30.62
Sulfato	SO_4^-	2.71	7.72
Magnesio	Mg^{++}	1.29	3.68
Calcio	Ca^{++}	0.41	1.17
Potasio	K^+	0.39	1.10
Bicarbonato	HCO_3^-	0.14	0.40
Bromuro	Br^-	0.067	0.19
Estroncio	Sr^{++}	0.008	0.02
Bario	B	0.004	0.01
Fluoruro	F^-	0.001	0.01
Total	----	----	99.99

Fuente: Wikipedia

La composición química del agua de nuestro mar, es similar a la que se da en otros mares, como se observa en las tablas 8 y 9. Caso singular es el contenido de sulfatos 25% superior al registrado en el Atlántico. La participación de este parámetro en los procesos de corrosión es menos significativa que la temperatura y la humedad relativa. Sin embargo, los mayores desarreglos observados en las últimas décadas en las construcciones del Medio Oriente coinciden - además de las particulares condiciones climáticas- con un mayor contenido de sales en el mar del Golfo.

TABLA 8. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA DE MAR

ION	Concentración (g por 100 cm ³)				
	Mar del Norte	Océano Atlántico	Litoral Peruano*	Mar Báltico	Golfo Pérsico
Sodio	1,220	1,110	1,090	0,219	1,310
Potasio	0,055	0,040	0,039	0,007	0,067
Calcio	0,043	0,048	0,041	0,005	0,050
Magnesia	0,111	0,121	0,130	0,026	0,148
Cloro	1,655	2,000	1,933	0,396	2,300
Sulfato	0,222	0,218	0,268	0,058	0,400
TOTAL	3,306	3,537	3,500	0,711	4,275

Fuente: Propia

TABLA 9
CONTENIDO DEL ION CLORURO Y SALINIDAD TOTAL EN EL AGUA DE MAR

Mar	Contenido de ion cloruro (ppm)	Salinidad Total (ppm)
Mar del Norte	16550	33060
Océano	20000	35537
Atlántico	19330	35000
Litoral	21380	--
Peruano	23000	42750
Mediterráneo	3960	7110
Golfo Pérsico		
Mar Báltico		

Fuente: Propia

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.

En la costa norte, según la Tabla N°10, se advierte la regularidad de las temperaturas altas en Tumbes, Piura y Chiclayo, siendo decrecientes y menos críticas al sur de Lima.

TABLA 10
TEMPERATURA Y HUMEDAD EN CENTROS URBANOS DEL LITORAL

TEMPERATURA MÁXIMAS		HUMEDAD RELATIVA				
RANGO	PROMEDIO	MINIMAS				
		RANGO	PROMEDIO	MEDIO	PROMEDIO	
Tumbes	27,0 – 32,0	29,5	19,5 - 23,0	21,2	75 – 79	77
Paíta	27,5 - 31,5	30,5	18,0 - 24,7	22,1	88 – 92	90
Chiclayo	23,5 - 31,0	27,2	15,5 - 21,0	18,2	72 – 78	75
Trujillo	20,5 - 26,0	23,2	14,5 - 18,5	16,5	82 – 84	83
Chimbote	25,8 - 27,9	26,7	17,9 - 20,3	19,5	74 – 81	75
Lima	18,5 - 26,5	22,5	15,0 - 20,5	17,7	64 – 95	80
Pisco	20,3 - 28,1	23,6	13,7 - 19,9	16,5	73 – 83	77
Mollendo	16,9 - 24,9	20,9	22,9 - 15,2	18,0	77 – 84	83

Fuente: SENAMHI – Oficina General de Estadística e Informática. Año 1994-98

Otro factor a considerar son los vientos predominantes, que van de sur a norte, envolviendo las edificaciones urbanas con la brisa marina, por la orientación de la costa, ver Tabla N°11.

TABLA 11
DIRECCIÓN PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO

Ciudad	Orientación	Velocidad m/s rango
Chiclayo	S	2-4
Trujillo	SE	4-5
Chimbote	S	6-9
Lima	S	3-4
Pisco	S	2-4

Fuente: SENAMHI – Año 1990, 1992, 1994.

2.2.4.1. 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:

2.2.4.1.1. 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.

2.2.4.1.2. 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.

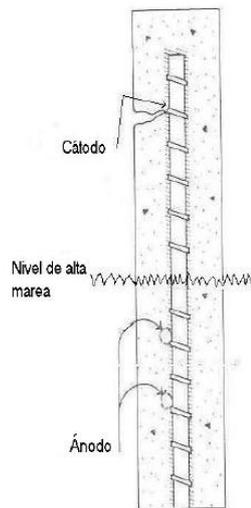
En el concreto comprendido entre mareas, se pueden producir fisuras que adelanten la corrosión, sea por golpes de impacto o por la acción de las olas.

2.2.4.1.3. 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 humidificación 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



GRAFICA 9. Zona de salpicadura – corrosión del acero
Fuente: Wikipedia

2.2.4.1.4. 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 niebla salina.

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 solicitaciones 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.

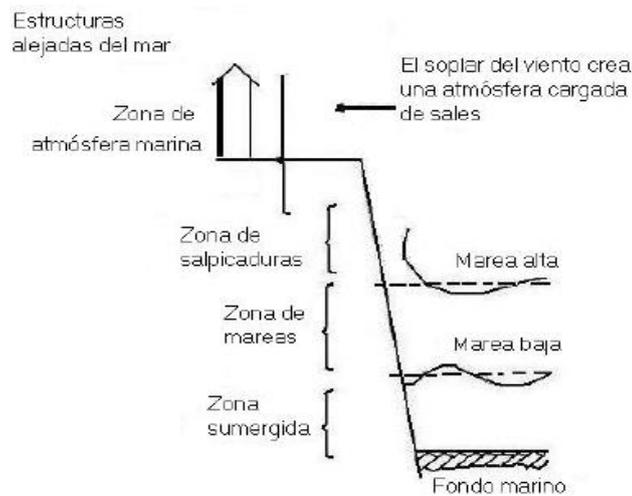


GRAFICO 10. Ubicación de las zonas de acuerdo a las condiciones agresivas del ambiente marino
Fuente: Wikipedia

2.2.4.2. 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 aún 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.

2.2.4.2.1. 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.

III. METODOLOGIA

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En general el estudio a realizarse será del tipo descriptivo, analítica, no experimental, y de corte longitudinal.

- ✓ Es descriptivo porque vamos a identificar y analizar las patologías encontradas a partir de sus características.
- ✓ Explicativo porque se pretende buscar el “por qué” de los hechos patológicos mediante la relación causa-efecto.
- ✓ No es experimental porque se estudia el problema y no se analiza requiriendo a laboratorio.
- ✓ Es una investigación Transversal ya que se analizará el fenómeno en un determinado tiempo, septiembre 2015.

La evaluación realizada fue de tipo mixta parte visual y otra de verificación de los datos tomados. El procesamiento de la información se hará usando Word, Excel Según la necesidad y datos hallados se utilizará software.

La metodología que se utilizará para el desarrollo eficiente del proyecto, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados en Fases o etapas.

Fase de la investigación:

Fase 1: Trabajos previos

- a) **Recopilación de antecedentes preliminares.-** Búsqueda, ordenamiento, análisis y validación de los datos existente y de toda la información necesaria: expediente técnico, planos catastrales, etc...
- b) **Estudio previo o sondeo.-** Mediante visitas in situ (Inspección visual).
- c) **Determinación del tamaño y el número de muestras.-** Se deberá definir el tamaño y el número de muestras.
- d) **Elaboración de los formatos de encuesta.-** Denominados también formatos de inspección u hojas de inspección, donde se registra los datos de campo.

Fase 2: Trabajos de campo (Inspección visual)

Se realiza en tres pasos y en cada una de las unidades de muestreo, previamente seleccionadas, distribuidas e indicadas en los planos.

a).- Identificación de los deterioros.- Se identifican los deterioros de elementos estructurales de las edificaciones.

b).- Clasificación de la severidad de deterioros.- La calificación puede ser baja, media o alta, según la gravedad.

c).- Medición de los deterioros.- Se realizan en unidades de área (m²).

El registro de datos se realiza en una hoja de inspección.

Fase 3: Procesamiento de datos

a).- Cálculo y análisis.- Se utilizan los datos de campo registrados en los formatos, para todas las unidades de muestreo. Previamente se clasifican los deterioros, (estructural y/o funcional).

CUADRO 1
MÉTODO DE DISEÑO

M ----- O ----- A ----- E
M = Muestra
O = Observación
A = Análisis
E = Evaluación
R = Resultado

Fuente: Erp-Uladech.

3.2. POBLACION Y MUESTRA

3.1.2. UNIVERSO O POBLACION

Para la presente Investigación el Universo coincidente con la población se define por todas las edificaciones cercanas al mar del Distrito de Paita, Departamento Piura.

3.1.3. MUESTRA

Se seleccionarán todos los muestreos:

- ✓ Muelle Fiscal de Paita.
- ✓ Viviendas cercanas a 50 metros del mar.(10 viviendas para el estudio)

3.1.4. MUESTREO

Es la unidad que representa la muestra del daño o deterioro de los elementos estructurales de las edificaciones cercanas al mar



GRAFICO 11. Plano de sectorización para muestreos
Fuente: Google Heart

3.3. DEFINICION Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

3.3.1. DEFINICION DE LA VARIABLE

La variable única (Independiente), es la siguiente:

“Influencia de las patologías en la durabilidad del concreto armado de edificaciones en zonas cercanas al mar en la ciudad de Paita – Piura 2015”.

3.3.2. OPERACIONALIDAD DE LA VARIABLE

CUADRO 2
CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
"Influencia de las patologías en la durabilidad del concreto armado de edificaciones en zonas cercanas al mar en la ciudad de Paita - Piura 2015"	Es la determinación o establecimiento de las patologías que tienen las diferentes de las edificaciones en zonas cercanas al mar de la ciudad de Paita.	Variabilidad de patologías que presenta el concreto armado de edificaciones en zonas cercaanas al mar de la ciudad de Paita. GRIETA EN MURO DE LADRILLO PRESENCIA DE HUMEDAD EN MURO DE LADRILLO DAÑO EN CIMENTACION POR CORROSION GRIETA HORIZONTALES Y VERTICALES EN VIGA DESCONCHAMIENTO DE LADRILLOS	Variabilidad en :	Tipo, forma de daño
			Grado de afectacion	Clase de daño Nivel de severidad Densidad
				Bajo Medio
				Alto

Fuente: Erp-Uladech¹⁴

3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Las técnicas e instrumentos que se emplearon para la recolección de datos fueron las siguientes:

1. La técnica de recolección de documental

En esta técnica se obtuvieron datos de fuentes documentales, de libros especializados, documentos oficiales de internet, guías, manuales, planos catastrales, conceptos básicos, técnicas avanzadas, y todo archivo que contuvo información y fue útil para el desarrollo de esta investigación. Etc...

2. La técnica de la encuesta y entrevista

Esta técnica se llevó a cabo utilizando, instrumentos de recopilación de datos de campo, utilizando los correspondientes formatos para anotar las fallas encontradas en las inspecciones, encuestas y entrevistas.

3. La técnica de observación de campo

En esta técnica se emplearon diferentes instrumentos como: (equipos, herramientas, formatos, manuales). Y fueron útiles para realizar la evaluación de la investigación. “identificación, calificación, medición”; de las patologías o deterioros, encontradas en el campo de estudio.

Instrumentos:

- Wincha, para realizar las mediciones.
- Cámara digital, para obtener las muestras de las fallas y deterioros.
- Laptop, con software de word, excel, autocad, con conexión a internet.
- Impresora.
- Papel DIN A4, cartuchos de tinta para la impresora, y material para anillados.

3.5. PLAN DE ANALISIS

El plan de análisis que se llevó a cabo, para el proyecto de investigación: “INFLUENCIA DE LAS PATOLOGIAS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO DE EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015”, se hizo en tres etapas y se describen a continuación:

3.5.1 PRIMERA ETAPA, (TRABAJOS PREVIOS):

a) Proyectos de Investigación Internacionales y Nacionales:

Se buscó información acerca de proyectos de investigación ya realizados de diferentes; lugares, autores, tipos de estudios, temas conceptuales, problemas de anomalías patológicas en los elementos estructurales en edificaciones y mecanismos de solución, a continuación indicamos algunos de los proyectos de investigación que se pudo recopilar:

Torres Acosta, Andrés **“CONCRETO CON CRITERIOS DE DURABILIDAD”**. Publicación Técnica No. 181 Sanfandila, Qro, 2001¹

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.

b) Plano catastral de la Región Piura:

Esta información se obtuvo a través de un plano catastral, elaborado por la municipalidad provincial de Piura, y a través de la web de la página de google heart, y lo que facilitó la ubicación y localización más exacta del lugar donde se llevó a cabo este proyecto.

c) Manual de evaluación de patologías los elementos estructurales de las edificaciones:

Los manuales y las tablas fueron las más importantes, porque nos permitió realizar el análisis y la evaluación de las fallas patológicas encontradas en los elementos estructurales de las edificaciones.

d) Información bibliográfica:

Se utilizó toda la información hallada en; libros, manuales, tablas, normas y reglamentos de diseño y evaluación de anomalías; pues nos brindó información técnica más precisa y exacta para determinar los objetivos del proyecto de investigación.

3.5.1.1 Determinación de las unidades de muestreo

Las unidades de muestreo se obtuvieron en las viviendas cercanas al mar, en la provincia de Paita, en un área de 2,000 m².

3.5.1.2 Determinación de la cantidad de unidades de muestreo para ser evaluadas.

El muestreo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

- Se identificó los elementos estructurales de edificaciones en estudio, en el lugar según el plano catastral de Paita.
- Se identificó las unidades de muestras individuales al ser inspeccionadas de tal manera que permitió al investigador, localizarlas fácilmente sobre los elementos estructurales de las edificaciones. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.

3.5.1.2 Selección de las unidades de muestreo para la inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas o distribuidas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemáticamente).

3.5.2 SEGUNDA ETAPA, (TRABAJOS DE CAMPO)

3.5.2.1 Evaluación de los elementos estructurales (Inspección visual superficial)

Para obtener un valor confiable, debe seguirse estrictamente la definición de los daños; que están establecidos en el manual de daños o deterioros de elementos estructurales de las edificaciones.

Para evaluar los elementos estructurales, de las unidades de muestreo, se incluyen los siguientes aspectos:

a) **Equipos y material de ayuda**

- Plano de ubicación local y plano con la extensión de la vía en estudio y la sectorización, con las unidades de muestreo.
- Manual de daños o deterioros elementos estructurales en edificaciones
- Formatos hojas de inspección o encuesta para el registro de datos.
- Wincha.
- Cámara digital.
- Laptop, con programas MS Office, autocad y conexión a internet.
- Papel DIN A4, cartuchos y tinta para impresora, material para anillados.

b) **Procedimiento**

1) **Inventario de deterioros**

- Se estableció la condición, la clase y el tipo de deterioro existente en los elementos estructurales de las edificaciones, in situ.
- Se identificó y se inventarió los deterioros, registrándolos en los formatos mediante anotaciones y gráficos.

2) **Inspección visual**

- Se inspeccionó visualmente la superficie de cada unidad de muestreo se anotó en las hojas de inspección, el tipo de daño, la cantidad y la severidad del daño; se utilizó el manual de daños como guía para identificarlos según su clase, tomando en cuenta las definiciones y los procedimientos de medida de daños indicados, durante el proceso de la inspección visual se tomaron las medidas de seguridad, para poder hacer las mediciones y para el desplazamiento por el área en estudio.

La inspección visual se llevó a cabo siguiendo tres pasos:

- **Primer paso; Identificación de los deterioros:**
Se identificaron las fallas de los elementos estructurales.

- **Segundo paso; Calificación de la severidad de deterioros:**
Se calificaron las fallas, según su condición; alta, media o baja, según la gravedad de la unidad del muestreo.

- **Tercer paso; Medición de los deterioros:**
Las medidas de los muestreos que se tomaron, se hicieron en unidades de superficie: área y su patrón de medida es el metro cuadrado (m²).

3.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA

CUADRO 3
CUADRO DE MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MARCO TEORICO	METODOLOGIA
<p>“INFLUENCIA DE LAS PATOLOGIAS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO DE EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015”</p>	<p>¿En qué medida la evaluación de las patologías definirá la durabilidad del concreto armado en las edificaciones de la zona costera Paita Piura, y proponiendo recomendaciones se evitará la presencia de futuras patologías?</p>	<p>Objetivo General Evaluar las patologías para definir la durabilidad del concreto armado debido a los daños estructurales de edificaciones en zonas costeras por acción del medio ambiente en la ciudad de Paita.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar las causas que originan los daños estructurales de edificaciones en zonas cercanas al mar. • Evaluar los efectos de las patologías y su influencia en la durabilidad del concreto armado de las estructuras en estudio. 	<p>Con la evaluación y el diagnóstico, determinar el índice de daños en el concreto armado en las edificaciones en zonas cercanas al mar.</p>	<p>Variable independiente Evaluar y diagnosticar la condición de las estructuras de las edificaciones cercanas al mar.</p>	<p>Tipo de falla en los elementos estructurales en forma:</p> <p>Fisuración: Longitudinales, transversales, en mapa.</p> <p>Fallo en Juntas: Juntas de construcción, dilatación.</p> <p>Daños Superficiales: Erosión, pérdida del agregado grueso, descascamiento.</p> <p>Textura: Eflorescencia, incrustación, lavado de finos.</p>	<p>Bases Teóricas</p> <p>Patologías 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 la construcción.</p> <p>Patología del Concreto</p> <p>Se le puede definir como el estudio sistemático de los procesos y de las características de los defectos o daños que puede sufrir el concreto, sus causas, consecuencias y soluciones.</p>	<p>Tipo y Nivel de Investigación</p> <p>Es una investigación de tipo descriptivo, explicativo y de corte transversal.</p> <p>Diseño de la Investigación.</p> <p>Es una investigación no experimental</p>

Fuente: Propia

3.6. PRINCIPIOS ETICOS

La recolección de información que se realizara en campo, debe ser reales. Se consultara y tomara artículos, trabajos de investigación, textos que estén relacionados a nuestra investigación. Respetando así los derechos de autor.

Los ingenieros civiles, estaremos al servicio de la sociedad, teniendo como obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de cada tarea profesional que nos sean asignadas. Debemos promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de nuestra profesión, sirviendo con fidelidad al público, a nuestros empleadores y clientes.

IV. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de las unidades de muestreo.

4.1.1. EVALUACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES EN VIVIENDAS Y MUELLE FISCAL DE PAITA

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

La longitud de las grietas se obtuvo con la ayuda de una cinta métrica y escalímetro

En este proyecto se estudiaron y se evaluaron 10 viviendas cercanas al mar, Muelle Fiscal de Paita y un puente Peatonal.

4.1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

4.1.1.1.1. UBICACIÓN

Las viviendas se encuentran ubicadas a 100 metros del mar.

4.1.1.1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El proyecto presenta viviendas unifamiliares de concreto armado de I 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.

4.1.1.2. DESCRIPCION DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.1.1.2.1. DAÑOS EN COLUMNAS

Desprendimiento del material en las columnas

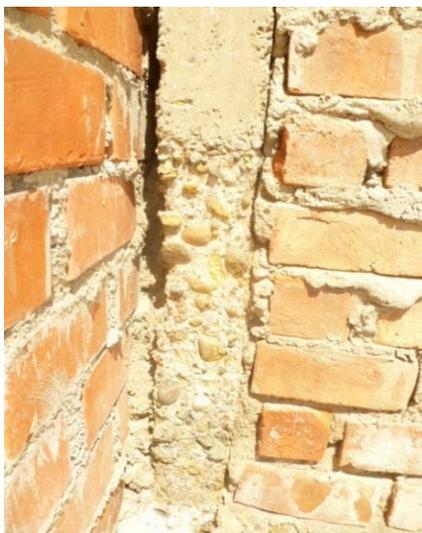


GRAFICO 12. Desprendimiento del material en las columnas

Fuente: Propia

4.1.1.2.2. DAÑOS EN VIGAS



GRAFICO 13. Desprendimiento del concreto en la viga

Fuente: Propia



GRAFICO 14. Desprendimiento del material. Grietas horizontales y verticales
Fuente: Propia

4.1.1.2.3. DAÑOS EN LAS LOSAS ALIGERADAS



GRAFICO 15. Grietas verticales y desprendimiento de material en losa
Fuente: Propia

4.1.1.2.4. DAÑOS EN MUROS



GRAFICO 16. Desconchamiento de ladrillos
Fuente: Propia



GRAFICO 17. Grieta en muro de ladrillo
Fuente: Propia



GRAFICO 18. Presencia de humedad en muro de ladrillo
Fuente: Propia

4.1.1.3. CUADROS CLINICOS DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LAS VIVIENDAS

4.1.1.3.1. CLASIFICACION DE LOS DAÑOS EN COLUMNAS

CUADRO 4
CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN COLUMNAS

Clasificación A	Sin Daño	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 presentan desprendimientos del concreto y desgaste del acero de refuerzo.

Fuente: Propia

CUADRO 5
DAÑOS EN COLUMNAS, VIVIENDAS UBICADAS CERCANAS AL MAR.
G.V: grietas verticales; **G.H:** grietas horizontales; **V.U:** vivienda unifamiliar

Vivienda	Nº De Columnas Dañados	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
V.U - 1	4	G.V.: posterior	Inferior	1	50	B	La grieta viene desde el nodo
V.U - 2	5	G.V: lateral derecha	Inferior	1	60	B	
V.U - 3	2	G.H: lateral izquierda	Centro	0,838	25	D	La grieta vertical superior de 1mm está a 1cm del nodo
V.U - 4	4	G.V: posterior	Toda la sección	4	320	E - 1	Las grietas ocupan toda la sección de la columna.
V.U - 5	6	G.V: lateral derecha	Inferior	1	60	B	
V.U - 6	5	G.V: lateral izquierda	Superior	2	30	E - 2	La columna presenta en el centro desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo corroído.
V.U - 7	4	G.H: lateral derecha	Centro	0,076	5	A - 2	
V.U - 8	2	G.V: posterior	Superior	0,457	10	B	
V.U - 9	6	G.V.: frontal	Superior	7	50	E - 2	La grieta de 7mm es la misma y se ve en las 2 caras. Hay desprendimiento del material en el nodo y se observa el acero
V.U - 10	4	G.V: posterior	Superior	0,889	60	E - 2	La columna presenta desprendimiento del concreto en el nodo.

Fuente: Propia

4.1.1.3.2. CLASIFICACION DE LOS DAÑOS EN VIGAS

CUADRO 6.
CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN VIGAS

Clasificación A	Sin Daño	A - 1	Sin daños
		A - 2	
Clasificación B	Daño Leve	B - 1	Aquellos elementos con anchos de fisura entre 0,2 – 1mm.
		B - 2	Elementos con anchos de fisuras entre 0,2 – 1mm y moho.
Clasificación C	Daño Moderado	De fisuras entre 3,1 – 4mm, desprendimiento del concreto y presencia de moho.	
Clasificación D	Daño Fuerte	Aquellos elementos con anchos de fisuras entre 4,1 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.	

Fuente: Propia

CUADRO 7
DAÑOS EN VIGAS, VIVIENDAS UBICADAS CERCANAS AL MAR
G.V: grietas verticales; **G.H:** grietas horizontales; **V.U:** vivienda unifamiliar

Vivienda	Nº De Vigas Dañados	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
V.U - 1	2	G.H: lateral derecha	centro	0,889	300	E	Desprendimiento del concreto en la cara inferior y se observa gran parte del acero del refuerzo corroído desgasto.
V.U - 2	3	G.V: lateral izquierda	Superior	0,483	300	E	
V.U - 3	2	G.H: inferior	Centro	3	100	C	Presenta moho a causa de la humedad proveniente de la losa.
V.U - 4	1	G.H: inferior	Centro	0,889	150	C	
V.U - 5	--	--	--	--	--	A-1	
V.U - 6	4	G.H: inferior	Centro	0,483	25	B-2	
V.U - 7	--	--	--	--	--	A - 1	
V.U - 8	2	G.H: lateral izquierda	Centro	0,889	16	B - 1	
V.U - 9	--	--	--	--	--	A - 1	
V.U - 10	4	G.H: inferior	Centro	3	25	D	

Fuente: Propia

4.1.1.3.3. CLASIFICACION DE DAÑO EN LOSAS

CUADRO 8
CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN LOSAS

Clasificación A	Sin Daño	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 ladrillo.
		C - 2	Desprendimiento del recubrimiento, ruptura de los ladrillos, humedad y corrosión.
Clasificación D	Daño Severo	Desprendimiento del concreto, ruptura de los ladrillos, corrosión y desprendimiento del acero de refuerzo.	

Fuente: Propia

CUADRO 9
DAÑOS EN LOSAS, VIVIENDAS UBICADAS CERCANAS AL MAR.

Vivienda	Cara	Daño	Observaciones
V.U - 1	Inferior y superior	C-2	En la parte inferior presenta en el concreto de recubrimiento, ruptura de varios ladrillos y corrosión de los perfiles de acero.
V.U - 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.
V.U - 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.
V.U - 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.
V.U - 5	Inferior	B-2	Presenta una grieta de 45cm de longitud.
V.U - 6	--	A	
V.U - 7	Inferior	B-1	Presenta una pequeña filtración.
V.U - 8	Inferior	C-2	Presenta agrietamientos en el material de recubrimiento y ruptura de varios ladrillos en el centro del paño.
V.U - 9	--	A	
V.U - 10	--	A	

Fuente: Propia

4.1.1.4. PORCENTUAL DE LOS DAÑOS PRESENTES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LAS VIVIENDAS

4.1.1.4.1. PORCENTAJE DE DAÑOS EN COLUMNAS

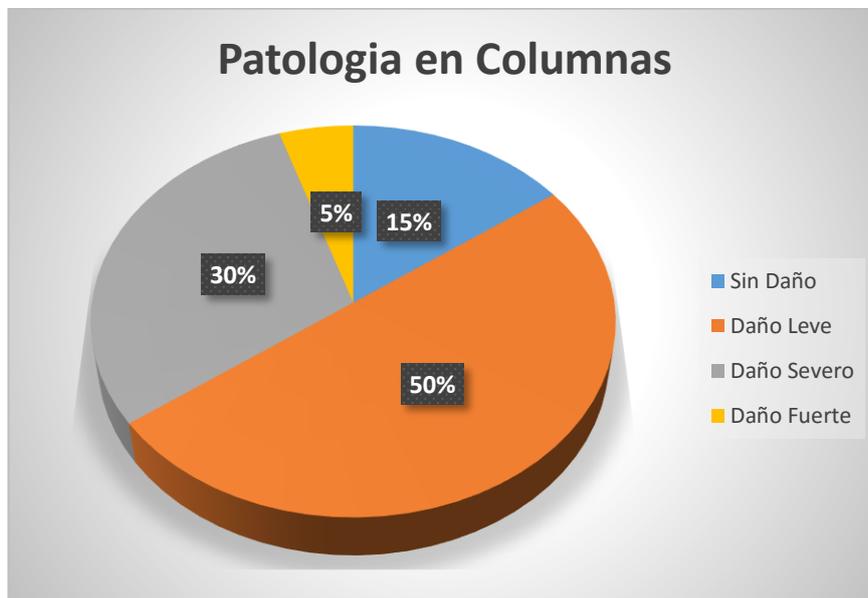


GRAFICO 19. Porcentaje de daños en columnas
Fuente: Propia

4.1.1.4.2. PORCENTAJE DE DAÑOS EN VIGAS

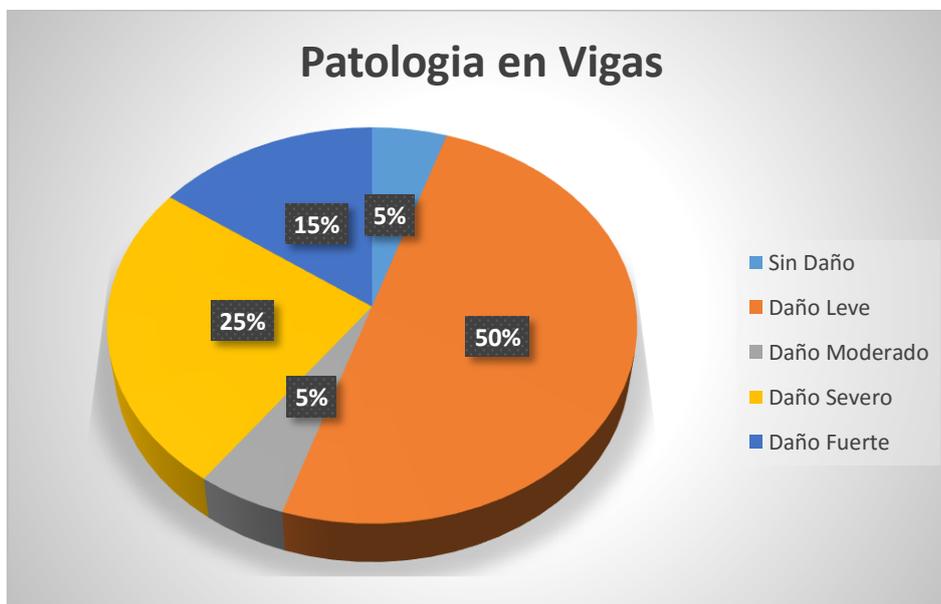


GRAFICO 20. Porcentaje de daños en vigas
Fuente: Propia

4.1.1.4.3. LOSAS

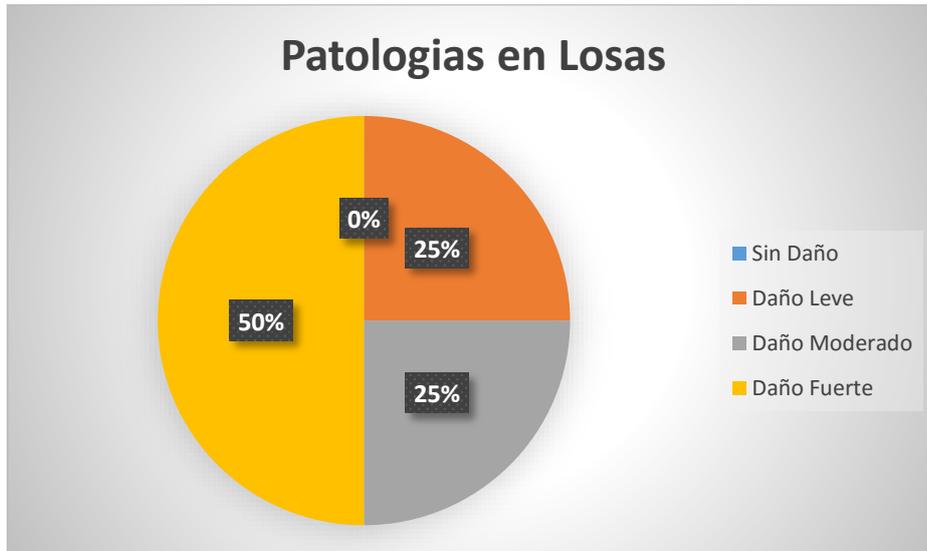


GRAFICO 21. PORCENTAJE DE DAÑOS EN LOSAS
Fuente: Propia

4.1.1.5. CUADROS CLINICOS DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL MUELLE FISCAL DE PAITA

4.1.1.5.1. CLASIFICACION DE LOS DAÑOS EN COLUMNAS

CUADRO 10
CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN LOSAS

Clasificación A	Sin Daño	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 presentan desprendimientos del concreto y desgaste del acero de refuerzo.

Fuente: Propia

CUADRO 11
DAÑOS EN COLUMNAS, MUELLE FISCAL DE PAITA
 G.V: grietas verticales; G.H: grietas horizontales;

Daño	Nº De Columnas Dañados	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
A	3	--	--		--
B	5	1	15		Grietas horizontales
D	8	0.84	20		La grieta vertical superior de 1mm.
E-1	5	5	315		Las grietas ocupan toda la sección de la columna.

Fuente: Propia

4.1.1.5.2. CLASIFICACION DE LOS DAÑOS EN VIGAS

CUADRO 12
CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN VIGAS

Clasificación A	Sin Daño	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 fisuras entre 0,2 – 1mm y moho.
Clasificación C	Daño Moderado	De fisuras entre 3,1 – 4mm, desprendimiento del concreto y presencia de moho.	
Clasificación D	Daño Fuerte	Aquellos elementos con anchos de fisuras entre 4,1 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.	

Fuente: Propia

CUADRO 13
DAÑOS EN VIGAS, MUELLE FISCAL DE PAITA
G.V: grietas verticales; **G.H:** grietas horizontales

N° De Vigas Dañados	Cara	Ubicación	Espesor (mm)	Longitud (cm)	Daño	Observaciones
4	G.H	centro	0,90	300	E	Presenta desprendimiento del concreto y se observa gran parte del acero del refuerzo corroído desgasto.
2	G.V	Superior	0,45	300	E	
2	--	--	--	--	A-1	
6	G.H	Centro	0,48	25	B-2	La grieta está en el nodo. Presenta moho en la cara lateral derecha y lateral izquierda
2	G.H:	Centro	0,889	16	B-1	La grieta vertical va desde el nodo hacia la columna.
2	G.H	Centro	4	21	D	

Fuente: Propia

4.1.1.5.3. CLASIFICACION DE DAÑOS EN LOSA

CUADRO 14
CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN LOSAS

Clasificación	Sin Daño	Sin daños	
Clasificación A			
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 ladrillo.
		C - 2	Desprendimiento del recubrimiento, ruptura de los ladrillos, humedad y corrosión.
Clasificación D	Daño Severo	Desprendimiento del concreto, ruptura de los ladrillos, corrosión y desprendimiento del acero de refuerzo.	

Fuente: Propia

CUADRO 15
DAÑOS EN LOSAS, MUELLE FISCAL DE PAITA

DAÑO	OBSERVACIONES
C-2	En la parte inferior presenta en el concreto de recubrimiento y corrosión de los perfiles de acero.
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.
B-2	En la cara inferior presenta pequeñas grietas. En la cara superior se observa el levantamiento de la capa de impermeabilización.
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.
B-1	Presenta una grieta de 45cm de longitud.
B-1	Presenta una pequeña filtración.
C-2	Presenta agrietamientos en el material de recubrimiento y ruptura de varios ladrillos en el centro del paño.

Fuente: Propia

4.1.1.6. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS DAÑOS PRESENTES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL MUELLE FISCAL DE PAITA



GRAFICO 22. Porcentaje de daños del muelle fiscal de Paita

Fuente: Propia

V.CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los tipos de patologías identificadas en las estructuras de las viviendas, muelle fiscal de Paita y puente peatonal son: carbonatación, ataques químicos, corrosión y disolución de la pasta del concreto.
- Por desconocimiento de las Normas de construcción en ambientes climatológicos agresivos, se presentaron los daños estructurales en las viviendas estudiadas.
- El deterioro por corrosión de las estructuras de concreto armado es de gran magnitud debido a su impacto económico, por lo cual es importante conocer las causas de su origen y desarrollo para controlarlo a fin de prolongar la vida útil de las obras civiles.
- La sucesión de mojado y secado que existe en la zona de estudio favorece la cristalización cíclica de las sales y por tanto esa acumulación de cristales produce la rotura consiguiente del concreto.
- Gracias a la aplicación de un conjunto de fichas de inspección visual no-destructivos pudo determinarse que la estructura del concreto armado del Muelle Fiscal de Paita presentaba, en sus bloques, problemas de corrosión de armaduras causados, en principio, por la suma de distintos factores tales como, defectos constructivos (escaso o inexistente recubrimiento de hormigón).
- En los casos donde resulte necesario determinar la durabilidad de una estructura de concreto armado afectada por corrosión es necesario identificar el o los factores que originaron el problema (cloruros, carbonatación) y establecer el ritmo de deterioro de la estructura mediante mediciones de velocidad de corrosión. Estudios de éste tipo son fundamentales a la hora de encarar tareas de mantenimiento o de reparación. Sólo así es factible recomendar la implementación.

5.2. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

- El concreto debe ser diseñado con los requerimientos específicos de servicio para cada estructura de acuerdo al sitio en que sea construida.
- El concreto debe ser cuidadosamente dosificado, compactado y curado. Con esto se conseguirá una baja porosidad y, por lo tanto, una alta permeabilidad.
- Tener en cuenta que una baja relación a/c permitirá lograr concretos menos permeables y proveerá mayor protección contra la corrosión.
- Muy importante considerar también la compactación o el vibrado del concreto para que tenga una distribución homogénea de la mezcla.
- Usar concretos densos de baja permeabilidad, esto significa utilizar relaciones de agua cemento bajas o lo que es lo mismo, resistencias altas. Hoy en día se recomienda que la relación agua cemento en concretos expuestos no debe ser mayor de 0.50, lo que significa resistencias características no menores de 245kg/cm², en obras marinas o vecinas al mar la resistencia característica mínima debe ser de 280kg/cm².
- Si se quiere impermeabilidad superficial no se puede usar encofrado deficiente o deteriorado sin curado efectivo no hay hidratación efectiva.
- También es recomendable para la durabilidad de los elementos expuestos a mayor abrasión (pisos y losas), tener en cuenta los siguiente; evitar la segregación de los componentes; Eliminando la exudación; Estableciendo un adecuado cronograma para el acabado; Minimizando la a/c superficial (prohibiendo agregar agua a la superficie para facilitar el acabado); Trabajando la superficie con un fratás duro; y Utilizando procedimientos de curado adecuados.
- Para la construcción de futuras estructuras, se deberá tener mucho cuidado en los procesos constructivos para la producción del concreto. La cantidad elevada por daño del óxido nos indica la presencia de cloruros en la atmosfera.
- Se recomienda el cemento Tipo V ASTM C-150, para Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes muy agresivos.

Como se podrá deducir es importante tomar medidas preventivas para evitar o postergar al máximo, la corrosión; los principales métodos de protección y control de corrosión se basan en eliminar algunos de los cuatro elementos que conforman la celda de corrosión (ánodo, cátodo, conductor iónico, conductor electrónico). Debido a esto hemos creído conveniente subdividir las recomendaciones en 3 etapas: Antes del Proceso Constructivo, Durante el Proceso Constructivo y Después de la Construcción, este último abarca las recomendaciones para la reparación.

5.1.2.1. ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

5.2.1.1. Analizar las condiciones del suelo y del agua subterránea, en caso donde se tenga nivel freático alto, a fin de determinar las concentraciones de sulfatos y sales existentes, evaluando la posible magnitud del ataque químico.

5.2.1.2. Se recomienda que los ensayos necesarios y los análisis químicos sean efectuados por un técnico experto. Porque la experiencia juega un rol muy importante en la interpretación de los resultados.

5.2.1.3. En nuestro medio la existencia de ambientes marinos está asociada a altas temperaturas del medio ambiente y son las causantes de acelerar cualquier proceso degradante o corrosivo. Como sabemos el cemento tiene elevado calor de hidratación, si a esto agregamos el calor del medio ambiente en que se vaca, se aumentará la posibilidad de formar micro fisuras por cambios de temperatura, lo que en ambiente marino constituye una vía segura de introducción de agentes agresivos. Por esto es recomendable en zonas donde la temperatura y ambiente son elevadas, vacear el concreto en el atardecer o en la noche, usar aditivos plastificantes como la variedad de productos SIKA.

5.2.1.4. Se deberá tener en cuenta el control de calidad de los materiales, los agregados gruesos y finos deberán tener los requisitos necesarios mediante el ensayo del laboratorio para su mejor resistencia de cada uno de los materiales.

5.2.1.5. Evitar drásticamente el uso de cloruros o la presencia de estos en los componentes del concreto. Así, como no se debe usar cloruro de calcio como aditivo acelerante. Tampoco debe usarse agua de mar para el mezclado del concreto armado, por eso es recomendable realizar un análisis químico del agua que se empleará en el concreto, verificando que cumpla con las normas respectivas.

5.1.2.2. DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO:

5.1.2.2.1. Se deberá tener en cuenta la protección adecuada de la cimentación, ya que de esto dependerá la durabilidad y protección contra los efectos de corrosión. Además dependerá de algunos parámetros como el nivel freático y el tipo de suelo, por eso es recomendable impermeabilizar por completo la superficie de la cimentación utilizando impermeabilizantes.

5.1.2.2.2. Recomendamos usar la Brea como material impermeabilizante por su economía y efectividad, aplicándose inicialmente en el solado antes del vaciado del concreto, para luego continuar con las superficies de la cimentación (2 manos).

5.1.2.2.3. El concreto a vaciar debe ser cuidadosamente dosificado, vaciado, compactado y curado. Con esto se conseguirá una baja porosidad y, por lo tanto, una alta permeabilidad.

5.1.2.2.4. El curado del concreto se debe llevar a cabo durante un periodo mayor que el normal, no debe ser menor de 14 días siendo lo recomendable un periodo de 28 días.

5.1.2.2.5. Una buena mezcla no asegura un buen concreto en obra, claro está que dependerá de la compactación y el estado de conservación del acero.

5.1.2.2.6. Muy importante considerar también la compactación o el vibrado del concreto para que tenga una distribución homogénea de la mezcla.

5.1.2.2.7. Se recomienda un recubrimiento mínimo sobre el acero de refuerzo de 4 a 5 centímetros de concreto.

5.1.2.2.8. Usar concretos densos de baja permeabilidad, esto significa utilizar relaciones de agua cemento bajas o lo que es lo mismo, resistencias altas. Hoy en día se recomienda que la relación agua cemento en concretos expuestos no debe ser mayor de 0.50, lo que significa resistencias características no menores de 245kg/cm², en obras marinas o vecinas al mar la resistencia característica mínima debe ser de 280kg/cm².

5.1.2.2.9. También es recomendable el uso de inhibidores de corrosión que se agrega a la mezcla de concreto para proteger la armadura contra el ataque corrosivo, éste método podría ser la mejor solución en aquellos casos donde el concreto se prepara con agua salobre, también en aquellos trabajos que se ejecuten en construcciones en zonas de salpique en ambientes marinos.

5.2. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Torres Acosta, Andrés **“CONCRETO CON CRITERIOS DE DURABILIDAD”**.Publicación Técnica No. 181Sanfandila, Qro, 2001
2. 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).

3. 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).
4. 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).
5. Ávila Mezarino, Yoji Hobberg : **Patologías, inspección y propuestas de reparación de estructuras de muelles portuarios - Caso Región Ancash Perú.**
6. Fernández, M. **“Patología y Terapéutica del Hormigón Armado”**. Segunda Edición. Editorial Dossat. Madrid. (1984).
7. 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

5.3. ANEXOS

5.3.1. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

5.3.1.1. RECURSOS (HUMANOS, MATERIALES)

5.3.1.1.1. RECURSO HUMANO

Concepto	Total S/.
Asesoría	2250
Total General	2250

5.3.1.1.2. RECURSOS MATERIALES

BIENES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (S/.)
Papel A4	Millar	10	22.00	220.00
Lapiceros	Unidad	30	1.00	30.00
Corrector Texto	Unidad	2	3.00	6.00
CDs	Cono	9	1.2	10.80
Fólderres Manila	Ciento	3	1.0	3.00
Fotocopia b/n y Colores	Unidad	2000	0.10	200.00
Anillados	Unidad	6	8	48.00
Empastado	Unidad	4	25.00	100.00
Internet	Hora	200	1.00	200.00
Refrigerios				200.00
Impresión	Hojas	3000	0.30	500.00
TOTAL				1518

5.3.1.1.3. PRESUPUESTO

a. Financiamiento Propio:

Concepto	Monto (s/)
Remuneraciones	2250
Recursos Materiales	1518
TOTAL	3768

5.3.2. INFORME DE ANALISIS DE ESTUDIO DE ARENA

En el presente informe se realizó una muestra de estudio de arena ubicados en las viviendas para tomar en cuenta que cantidad de Cloruros (Cl), Sulfatos (SO₄), Sales Solubles (S.S) y Carbonatos.

Dicho estudio de análisis de arena se realizó en el Centro Productivo De Bienes y Servicios del Departamento Académico de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Piura.



INFORME DE ANALISIS N° 182- CP-D.A.I.Q.-UNP

MUESTRA : ARENA
PROCEDENCIA : PAITA
SOLICITANTE : JORGE ANTONIO DEVOTO PATIÑO
FECHA RECEPCION : 04 DE DICIEMBRE DE 2015

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	
CLORUROS (Cl ⁻ %)	0.44
SULFATOS (SO ₄ ²⁻ %)	0.12
SALES SOLUBLES (S.S %)	0.72
CARBONATOS (Ca CO ₃ %)	0.00

Nota: Muestra proporcionada por el usuario

Piura, 07 Diciembre 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Felix Ruiz Anton
Ing. Felix Ruiz Anton
PRESIDENTE
DIRECTORIO CENTRO PRODUCTIVO
DE BIENES Y SERVICIOS D.A.I.Q.



GRAFICO 23. Informe de análisis de arena
Fuente: Propia

5.3.3. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES

5.3.3.1. MAPA DE LA UBICACIÓN DEL MUELLE FISCAL Y VIVIENDAS CERCANAS AL MAR



GRAFICO 24. Mapa de la ubicación del muelle fiscal y viviendas cercanas al mar

Fuente: Google Heart

5.3.3.2. MUELLE FISCAL DE PAITA



GRAFICO 25. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero
Fuente: Propia



GRAFICO 26. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero
Fuente: Propia



GRAFICO 27. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero
Fuente: Propia



GRAFICO 28. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero
Fuente: Propia



GRAFICO 29. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero
Fuente: Propia



GRAFICO 30. Corrosión de acero de la junta de la plataforma de concreto
Fuente: Propia



GRAFICO 31. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero
Fuente: Propia



GRAFICO 32. Corrosión de acero plataforma de concreto
Fuente: Propia



GRAFICO 33. Grietas horizontales y verticales de la viga
Fuente: Propia



GRAFICO 34. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión
de acero de un puente peatonal
Fuente: Propia



GRAFICO 35. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero de un puente peatonal
Fuente: Propia



GRAFICO 36. Presencia de desconchamiento de concreto y corrosión de acero de un puente peatonal
Fuente: Propia

5.3.3.3. VIVIENDAS



GRAFICO 37. Desconchamiento de ladrillo
Fuente: Propia



GRAFICO 38. Desconchamiento de ladrillo
Fuente: Propia



GRAFICO 39. Presencia de sal impregnada en los poros del material ladrillo – concreto – acero
Fuente: Propia



GRAFICO 40. Presencia de sal impregnada en los poros del material ladrillo – concreto – acero
Fuente: Propia



GRAFICO 41. Grieta en muro de ladrillos
Fuente: Propia



GRAFICO 42. Grieta en muro de ladrillos
Fuente: Propia



GRAFICO 43. Grieta en muro
Fuente: Propia



GRAFICO 44. Presencia de humedad en muro de ladrillo
Fuente: Propia



GRAFICO 45. Presencia de humedad en muro de ladrillo
Fuente: Propia



GRAFICO 46. Daño en cimentación por corrosión
Fuente: Propia



GRAFICO 47. Presencia de sal impregnada en el cimiento
Fuente: Propia



GRAFICO 48. Presencia de sal impregnada en el cimiento
Fuente: Propia



GRAFICO 49. Daño en cimentación por corrosión
Fuente: Propia



GRAFICO 50. Daño en cimentación por corrosión
Fuente: Propia



GRAFICO 51. Grietas horizontales y verticales en la viga
Fuente: Propia



GRAFICO 52. Grietas horizontales y verticales en la viga
Fuente: Propia



GRAFICO 53. Desprendimiento del concreto en la viga
Fuente: Propia



GRAFICO 54. Desprendimiento del concreto en losa
Fuente: Propia



GRAFICO 55. Desprendimiento del concreto en muro
Fuente: Propia

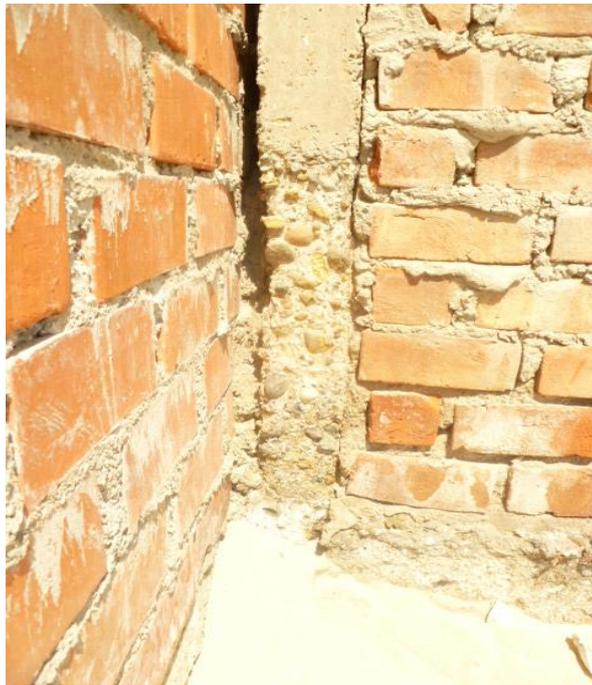


GRAFICO 56. Desprendimiento del material en las columnas
Fuente: Propia