

---

**“UNIVERSIDAD CATÓLICA LOS ÁNGELES  
CHIMBOTE”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**“INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS  
EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO DEL  
MUELLE DE YACILA –PAITA - PIURA, SEPTIEMBRE  
2015”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**KEVIN JOSUÉ ALVARADO RUESTA**

**ASESOR:**

**DR. JUAN ASALDE VIVES**

**PIURA – PERÚ**

**2015**

**JURADO EVALUADOR**

Mg. Miguel Angel Chan Heredia.

Presidente

Ing. Wilmer Oswaldo Córdova Córdova.

Secretario

Ing. Gilberto Regulo Sánchez Gamarra.

Miembro

## **DEDICATORIA**

Con todo mi cariño y amor para mis padres que hicieron todo en la vida para que pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A todas las personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

A mis maestros que influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

Con todo mi cariño esta tesis se las dedico todos ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradecerle a Dios por bendecirme y darme sabiduría para llegar hasta donde he llegado, porque has hecho realidad este sueño anhelado.

A mis padres por la confianza y el apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis fallas y celebrando mis triunfos.

A todos los profesores que ahora hacen de mí una mejor persona, a mis amigos y compañeros que formaron parte de esta aventura y siempre quedaran en mis recuerdos.

A la Universidad Católica Los Ángeles De Chimbote, por ser mi casa durante este tiempo y darme todas las facilidades para crecer.

## Resumen

El medio marítimo es extremadamente severo para una estructura de concreto armado, ya que la mayoría presenta señales de degradación producto de varios efectos que pueden ser mecánicos, químicos y físicos. Aunque el problema más importante en la degradación del concreto es la corrosión de la armadura debido a la presencia de cloruros. Otros de los factores que debemos tener en cuenta son la calidad de los materiales y la mano de obra que se utiliza al momento de la construcción, ya que afectan muchas veces la degradación temprana de nuestra estructura.

Un muelle en servicio, se podrá observar diferentes tipos de patologías debido a su ubicación en un ambiente altamente agresivo, a ello se suma el impacto producido por las embarcaciones, la antigüedad de dicha estructura y la falta de mantenimiento. A lo que se quiere llegar con esta investigación, es comprender un poco más las causas que ocasionan las patologías en este tipo de estructuras que son los muelles. Con la finalidad de que en construcciones futuras lleguemos a tener estructuras con una vida útil adecuada.

El objetivo es evaluar los elementos estructurales de concreto armado existentes que conforman el muelle, para determinar la condición de estos elementos y asignar una propuesta de actuación o reparación. La metodología de la presente investigación es correccional de tipo descriptivo y explicativo, con diseño no experimental y de corte transversal. Para la inspección visual el muelle se dividió en tres zonas: zona 1 (puente), zona 2 (cabezo) y zona 3 (plataforma baja). Como resultado se ha obtenido que los elementos estructurales más deteriorados son las losas nervadas y las paredes laterales del cabezo y de la plataforma. La losa nervada de la zona 1 se obtuvo un 44% deteriorada, para la zona 2 las paredes laterales presentan daños en un 30% y la losa nervada un 24%, para la zona 3 se resultó con un 39% de daños en las paredes laterales y un 36% para la losa nervada. De acuerdo al análisis llegamos a la afirmación de que el muelle se encuentra en mal estado, necesitando reparaciones urgentes para mantener la seguridad y el funcionamiento correspondiente de la estructura.

***Palabras Clave:*** muelle, patologías, degradación, medio marítimo, inspección.

## Abstract

The marine environment is extremely severe for a reinforced concrete structure, since most product shows signs of various effects that can be mechanical, chemical and physical degradation. Though the most important problem in the degradation of the concrete one is the corrosion of the armor due to the presence of chlorides. Other factors that must be considered are the quality of the materials and labor that is used at the time of construction, since they often affect early degradation of our structure.

A dock in service, you will see different types of pathologies due to its location in a highly aggressive environment, add to this the impact produced by vessels, the antiquity of this structure and the lack of maintenance. Research, it is understand a little more the causes that cause pathologies in this type of structures that are the docks. In order that in constructions future come to have structures with a shelf life adequate.

The aim is to inspect the structural elements reinforced concrete existing that make up the dock, to determine the condition of these items and assign a proposed action or repair. The methodology of the present research is correctional of descriptive type and explanatory, with non-experimental and cross-sectional design. For visual inspection the wharf is divided into three zones: Zone 1 (bridge), Zone 2 (cabezo) and zone 3 (platform goes down). As a result was obtained that the most deteriorated structural elements are ribbed slabs and sidewalls of cabezo and platform. The slab nervada of the zone 1 obtained 44 % deteriorated, for the zone 2 the lateral walls he presents damage in 30 % and the slab nervada 24 %, for the zone 3 one resulted with 39 % of damage in the lateral walls and 36 % for the ribbed slab. In agreement to the analysis, we come to the affirmation of which the dock is located on disrepair, needing urgent repairs to maintain security and the functioning corresponding of the structure.

**Keywords:** Wharf pathologies, degradation, marine environment, inspection.

## Contenido

1. Título de la tesis.....	i
2. Hoja de firmas del jurado .....	ii
3. Hoja de Agradecimiento y/o Dedicatoria .....	iii
4. Resumen y Abstract .....	v
5. Contenido .....	vii
6. Índice de gráficos, tablas y cuadros .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	2
2.1. Antecedentes .....	2
2.1.1. Características del área de estudio.....	2
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	4
2.1.3. Antecedentes Nacionales .....	6
2.1.4. Antecedentes Regionales.....	7
2.2. Bases Teóricas de la Investigación .....	8
2.2.1. Consideraciones generales.....	8
2.2.2. El concreto.....	10
2.2.3. Muelles marítimos .....	11
2.2.4. El medio marítimo.....	20
2.2.5. Durabilidad de las estructuras de concreto armado.....	23
2.2.6. Patologías de los compuestos del concreto .....	25
2.2.7. Origen y caracterización de las patologías en el concreto armado.....	27
2.2.8. Patologías más habituales en un muelle maritimo .....	54
III. METODOLOGÍA.....	60
3.1. Diseño De La Investigación .....	60

3.2. Población Y Muestra.....	61
3.2.1. Universo o Población .....	61
3.2.2. Muestra .....	61
3.3. Definicion Y Operacionalizacion De Las Variables E Indicadores.....	61
3.4. Tecnicas E Instrumentos De Recolección De Datos.....	62
3.5. Plan De Analisis.....	62
3.6. Matriz De Consistencia.....	63
3.7. Principios Éticos.....	64
IV. RESULTADOS .....	65
4.1. Resultados .....	65
4.2. Análisis De Resultados .....	84
4.2.1. Planteamiento de alternativas de solución para el muelle yacila .....	87
V. CONCLUSIONES .....	90
5.1. Aspectos Complementrios .....	91
5.2. Referencias Bibliograficas .....	92
5.3. Anexos.....	95



## Índice De Gráficos

Gráfico 1: mapa de ubicación general .....	2
Gráfico 2: mapa de ubicación local .....	2
Gráfico 3: figura satelital de la estructura a evaluar .....	4
Gráfico 4: muelle de bloque.....	14
Gráfico 5: muelle de concreto sumergido.....	15
Gráfico 6: muelle de cajones .....	16
Gráfico 7: muelle de elementos en "L" .....	16
Gráfico 8: muelle de pantalla sin plataforma superior de descarga.....	17
Gráfico 9: muelle de pantalla con plataforma superior de descarga.....	17
Gráfico 10: muelle de recintos de tablestacas.....	18
Gráfico 11: muelle de pilotes.....	19
Gráfico 12: zonas de exposición marinas .....	22
Gráfico 13: relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto.....	24
Gráfico 14: modelo de equilibrio de durabilidad del concreto .....	27
Gráfico 15: daños a la adherencia.....	31
Gráfico 16: fisura por retracción plástica .....	38
Gráfico 17: fisuración por precipitación de agregados.....	39
Gráfico 18: Fisuras en Mapa.....	41
Gráfico 19: Fisuras en mapa en losas de concreto simple y concreto armado .....	42
Gráfico 20: representación electroquímica del concreto y el acero.....	48
Gráfico 21: tipos de corrosión .....	51
Gráfico 22: Proceso químico de la Carbonatación .....	53
Gráfico 23: Patologías en la losa nervada del puente .....	67
Gráfico 24: grado de afectación en losa nervada del puente .....	67
Gráfico 25: Patologías en vigas transversales del puente .....	68
Gráfico 26: grado de severidad en vigas transversales del puente .....	68
Gráfico 27: Patologías en pilotes del puente .....	69
Gráfico 28: grado de severidad en pilotes del puente.....	69
Gráfico 29: Patologías en vigas transversales del puente .....	71

Gráfico 30: Patologías en la losa nervada del cabezo.....	72
Gráfico 31: grado de severidad en losa nervada del cabezo .....	72
Gráfico 32: Patologías en paredes laterales del cabezo .....	73
Gráfico 33: grado de severidad en paredes laterales del cabezo.....	73
Gráfico 34: Patologías en vigas transversales del cabezo.....	74
Gráfico 35: grado de severidad en vigas transversales del cabezo .....	74
Gráfico 36: Patologías en pilotes del cabezo .....	75
Gráfico 37: grado de severidad en pilotes del cabezo .....	75
Gráfico 38: Patologías en el noray del cabezo.....	76
Gráfico 39: grado de severidad en el noray del cabezo .....	76
Gráfico 40: Patologías en vigas transversales del puente .....	78
Gráfico 41: Patologías en la losa nervada de la plataforma.....	79
Gráfico 42: grado de severidad en losa nervada de la plataforma .....	79
Gráfico 43: Patologías en paredes laterales de la plataforma .....	80
Gráfico 44: grado de severidad en paredes laterales de la plataforma.....	80
Gráfico 45: Patologías en el noray de la plataforma.....	81
Gráfico 46: grado de severidad en el noray de la plataforma .....	81
Gráfico 47: Patologías en vigas transversales del puente .....	83
Gráfico 48: Magnitud de daño en el puente.....	84
Gráfico 49: Magnitud de daño en el cabezo .....	85
Gráfico 50: Magnitud de daño en la plataforma .....	86
Gráfico 51: vista lateral del muelle Yacila .....	95
Gráfico 52: el oleaje del mar golpeando la estructura del muelle .....	95
Gráfico 53: perdida del agregado grueso.....	96
Gráfico 54: descamación y perdida del agregado fino .....	96
Gráfico 55: descascaramiento y exposición del acero de refuerzo.....	97
Gráfico 56: descascaramiento y exposición del acero de refuerzo – zona 2 .....	97
Gráfico 57: exposición del acero, corrosión y fracturas – zona 2.....	98
Gráfico 58: grietas, desgaste de la superficie y fracturas – zona 3.....	98
Gráfico 59: descascaramiento severo con exposición del acero y corrosión – zona 3 .....	99
Gráfico 60: manchas de óxido, fisuras y erosión – zona 3 .....	99

## Índice De Tablas

Tabla 1: esquema temperatura, color y daño en el concreto por incendio.....	31
Tabla 2: Microorganismos y acciones sobre el concreto .....	46
Tabla 3: Grado de daño por impactos .....	54
Tabla 4: Grado de daño por decoloración y manchado .....	54
Tabla 5: Grado de daño por desagregación .....	55
Tabla 6: Grado de daño por descascaramiento en superficie del concreto .....	55
Tabla 7: Grado de daño por eflorescencia .....	55
Tabla 8: Grado de daño por erosión.....	56
Tabla 9: Grado de daño por grietas en dos direcciones del concreto .....	56
Tabla 10: Grado de daño por agentes biológicos.....	56
Tabla 11: Grado de daño por deformación .....	57
Tabla 12: Grado de daño por faltante .....	57
Tabla 13: Grado de daño por oxidación.....	57
Tabla 14: Grado de daño por acero de refuerzo expuesto .....	58
Tabla 15: Grado de daño por corrosión .....	59

## **Cuadros**

Cuadro 1: Definición y Operacionalización de las Variables e Indicadores .....	61
Cuadro 2: Matriz de Consistencia.....	63
Cuadro 3: número de elementos estructurales por zona .....	66

## I. INTRODUCCIÓN

Un muelle portuario es el eslabón que permite una conexión física entre el transporte marítimo y el terrestre, además del desarrollo eficiente de las diferentes actividades desarrolladas por el hombre como son el comercio y transporte.

Durante su periodo de vida, los muelles presentan diferentes tipos de lesiones o deterioros que se le conocen como patologías. Estas patologías son producto, en algunos casos por un mal diseño, un proceso constructivo inadecuado o mala elección de agregados; pero el factor más importante en el deterioro de la estructura es el ambiente marino al que está expuesto ya que es altamente agresivo y deteriorante.

Debido al constante contacto con el agua del mar, sumado a ello la erosión física debido a la acción de las olas y de las partículas en suspensión, estas acciones producen un aumento de la permeabilidad del concreto. De todas estas posibles causas, la corrosión de la armadura por la acción de cloruros del agua del mar es el principal problema del concreto. Influyendo negativamente en la durabilidad de las edificaciones y siendo causa de costosas reparaciones para mantener la funcionalidad de la estructura. Es por ello que un muelle requiere de construcción, conservación y mantenimiento eficiente y oportuno.

El trabajo desarrollado en la presente tesis, se hace sustentado en un análisis detallado de los diferentes tipos de patologías que los elementos estructurales de un muelle pueden presentar, el grado de afectación y el nivel de severidad que tiene sobre el mismo; para luego determinar qué mecanismos son los más idóneos para su rehabilitación, reconstrucción y uso adecuado mediante procedimientos de prevención relacionados al tipo de patologías presentes en cada elemento estructural que conforma un muelle.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

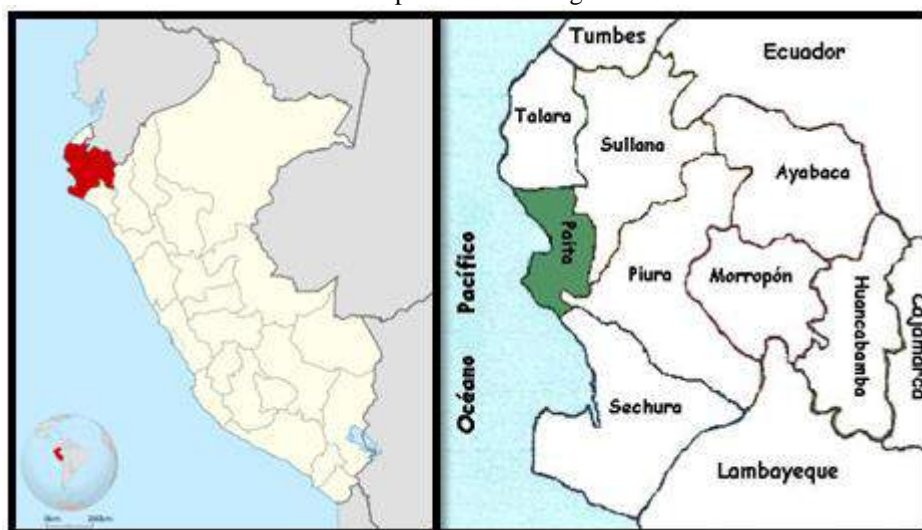
##### Localización:

La Provincia de Paita es una de las ocho regiones que integran el departamento de Piura, bajo la administración del Gobierno Regional de Piura. Limitada por el norte, con las Provincias de Talara y Sullana; por el sur, con las Provincias de Piura y Sechura; por el este, con la Provincia de Sullana y por el oeste, con el Océano Pacífico.

El distrito de Paita es uno de los siete distritos de la Provincia de Paita, ubicada en el Departamento de Piura. Limita por el norte con el Distrito de Colan; por el este con el distrito de la Huaca; por el sur con la Provincia de Sechura; y por el oeste con el Océano Pacífico.

La playa y caleta de pescadores de Yacila, se encuentra a once kilómetros al suroeste de Paita, es una playa pequeña de unos 500 m de largo, con un ancho que fluctúa entre los 20 y 200 m.

Gráfico 1: mapa de ubicación general



Fuente: Propia

Gráfico 2: mapa de ubicación local



Fuente: Internet

### **Clima:**

Debido a su proximidad con la línea ecuatorial, la costa de Piura tiene un clima cálido durante todo el año. La temperatura promedio es de 26 °C. El clima costero presenta características de clima tropical en la zona yunga y de sabana tropical a nivel del mar.

La temperatura máxima puede alcanzar los 40 °C y la mínima 15 °C.

El clima de esta región se encuentra definido principalmente por el volumen de las precipitaciones provenientes del océano Pacífico, a su vez determinadas por el encuentro de dos corrientes marinas: la fría Corriente de Humboldt de 13 a 19 °C, con la cálida El Niño de 21 a 27 °C.

La humedad promedio anual es de 66%, la presión atmosférica media anual es de 1008,5 hPa en tanto que los vientos que siguen una dirección al sur tienen una velocidad promedio de 3 m/s. Las precipitaciones pluviales también muestran variaciones. En la costa generalmente baja dentro de los 100 y 500 msnm oscilando en esta parte entre 10 y 200 mm; entre los 500 y 1500 msnm, las precipitaciones llegan entre los 200 y 800 mm y en la zona ubicada sobre los 1500 msnm el promedio de precipitaciones pluviales es de 1.550 mm.

### **Ubicación de la estructura a evaluar:**

En la siguiente imagen satelital se encuentra la ubicación del muelle evaluado.

**Gráfico 3:** figura satelital de la estructura a evaluar



**Fuente:** Internet

### 2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

El estudio realizado por **Pacheco Q. Guillermo** (2013)<sup>(1)</sup>. Concluye que, de acuerdo a las nuevas tendencias y necesidades de uso en el puerto de Guayaquil, hacen necesario tener operativo los muelles, ya que son estructuras de concreto armado lo que significa que deben estar en condiciones óptimas para su servicio. Considerando que las estructuras que lo conforman están sometidos a varios agentes patológicos, de origen tanto físicos, climáticos, biológicos, etc. Los mismos que provocan fallas tales como la corrosión, fisuras, deslizamientos, fracturas, erosión, sobrecargas, entre otros.

Por medio de fichas codificadas plantea una inspección visual de muelles que faciliten el diagnóstico para los mantenimientos rutinarios. Además, en su



investigación detalla ensayos para pruebas destructivas y no destructivas de las estructuras de los muelles.

Señala que se debe realizar inspecciones de forma periódica para detectar y diagnosticar fallas y deterioros que puedan ocasionar la operatividad del muelle

**Rodríguez J.**<sup>(2)</sup>. En su artículo no hace una exhaustiva relación de problemas y patologías que conlleve la ejecución de obras en ambiente marino y su afección al concreto. Lo que hace es mostrarnos algunos ejemplos donde la presencia del mar es determinante tanto para la ejecución de la obra como en las patologías aparecidas.

A través de una inspección visual, apoyada por medio de fotografías; describe la o las causas que han podido originar la patología y las medidas que adoptadas para su corrección.

Señala que desde el punto de vista de la ejecución de una obra en ambiente marino se puede encontrar con innumerables problemas. Además, hace un resumen de las tipologías de los daños, en la cual encontramos: Optimización de un buen diseño, fallos debido a una deficiente calidad de los materiales o desafortunada elección de los mismos, defectos ocasionados por una ejecución poca cuidadosa.

Rodríguez J. concluye que hasta el acero más inoxidable utilizado en el mejor de los yates requiere de un adecuado mantenimiento y, aun así, con mucha frecuencia se aprecian las antiestéticas manchas de óxido.

**Bermúdez O. Miguel, Alaejos G. Pilar** (2007)<sup>(3)</sup>. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento del concreto armado en los cajones de dos muelles.

Señalan que el concreto expuesto a un ambiente marino puede deteriorarse debido a los efectos combinados de la acción química de los constituyentes del agua de mar sobre los productos de hidratación del cemento. La corrosión de las armaduras suele ser la principal causa del deterioro del concreto en estructuras de concreto armado expuestas al agua de mar.

Para el estudio de los dos muelles hicieron un ensayo de laboratorio donde concluyen que, aunque la resistencia del concreto resulte elevada, el concreto contiene una elevada porosidad. Además, sus análisis realizados parecen indicar que para evitar la penetración de grandes cantidades de cloruros es necesario alcanzar calidades de concreto especialmente buenas.

En su inspección visual de las armaduras en estudio, indican que no hay síntomas de corrosión a pesar de que el contenido de cloruros a esa profundidad sea muy superior al 0.4% indicado en la EHE.

De acuerdo a sus resultados indican que es posible que en un ambiente marino sea suficiente un concreto tipo H-25, mientras que para los ambientes de carrera de mareas y atmosférico, donde si hay una exposición mayor al oxígeno atmosférico, será necesario utilizar concretos de una calidad superior.

### **2.1.3. ANTECEDENTES NACIONALES**

Ávila M. Yoji (2011)<sup>(4)</sup>. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar específicamente los tipos de lesiones que los muelles pueden presentar, como se originan estas lesiones y las consecuencias a las que conllevan las mismas sobre elementos estructurales de los muelles portuarios. Además, en su trabajo plantea una propuesta de inspección no destructiva para este tipo de estructuras, y también propone varios métodos de reparación según el tipo de lesión y según el tipo de elemento estructural. Al finalizar su investigación concluye que estas estructuras son susceptibles a la corrosión debido a lo agresivo del ambiente en que se encuentran. Los ataques por cloruros es uno de las causas de daños más importantes para estructuras de concreto armado. Asimismo, resalta que la permeabilidad es la clave de la durabilidad, el origen de la mala impermeabilidad puede deberse a muchas causas, concreto mal preparado, las fisuras producidas por los motivos expuestos en su trabajo, etc.

#### **2.1.4. ANTECEDENTES REGIONALES**

**Ramos L. Néstor** (2014)<sup>(5)</sup>, concluye que las estructuras de concreto armado al estar expuestas a un ambiente marino y sufrir daños como el deterioro por corrosión, es de gran magnitud debido al impacto económico que trae como consecuencia. Por lo que señala que es importante conocer las causas de su origen y desarrollo para controlar los daños a fin de prolongar la vida útil de estas obras civiles.

Además, cuando sea necesario determinar la durabilidad de una estructura de concreto armado señala que es necesario identificar los factores que originan el problema y establecer el ritmo de deterioro de la estructura mediante mediciones de velocidad de corrosión, ya que son fundamentales a la hora de encarar tareas de mantenimiento o reparación.

**Alvarado E. Luis** (2015)<sup>(6)</sup>, su investigación tubo como finalidad determinar las patologías más comunes que se pueden encontrar en estructuras de concreto expuestas a un ambiente marino. En su proyecto analizo dos muelles marítimos en la cual concluyo que, debido a los diferentes cambios de temperatura, alto índice de humedad, así como también el contenido de sulfatos, el golpe de las embarcaciones con la estructura, etc.; que existe en el litoral peruano. Generan lesiones graves a las estructuras ya mencionadas; como fisuras, corrosión en la armadura, entre otras. Es por ello que recomienda hacer estudios más profundos a las estructuras para así poder saber el grado de severidad de las mismas, para poder dar una solución de reparación o mantenimiento a dicha estructura.

## **2.2. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

#### **2.2.1.1. *Concreto***

Básicamente es una mezcla de cemento, agregados, aire y agua, a los cuales se incorpora eventualmente un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. La mezcla se da en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades establecidas, como la resistencia.

#### **2.2.1.2. *Patología Estructural***

Ciencia dedicada al estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las edificaciones, analizando el origen, las causas y consecuencias de los mismos a fin de seleccionar las medidas correctivas apropiadas (Ávila M. Yoji, 2011).

#### **2.2.1.3. *Lesión***

Son cada una de las manifestaciones observables de un problema constructivo. Se trata de un síntoma o un efecto final del proceso patológico en cuestión. Existiendo diferentes tipos de lesiones, primarias y secundarias, diferenciadas por el hecho de que, en muchas ocasiones, una lesión es, a su vez, origen de otra (Jelpo Pía – Padilla Leticia, 2010) <sup>(7)</sup>.

#### **2.2.1.4. *Causa***

Es el agente, activo o pasivo, que actúa como origen del proceso patológico, y que desemboca en una o varias lesiones. En ocasiones, también puede ocurrir que varias causas actúen conjuntamente para producir una misma lesión. Con el diagnóstico, se pretende conocer la causa o causas de la enfermedad, su origen (Jelpo Pía – Padilla Leticia, 2010).

#### **2.2.1.5. Inspección**

Permite asegurar únicamente que no se detectan síntomas que indiquen la existencia de deterioros inminentes. Una inspección se basa en un trabajo sistemático.

#### **2.2.1.6. Diagnóstico**

Consiste en analizar el estado actual de la estructura, previa inspección, toma de datos y estudio de los mismos. En general incluye la evaluación de la capacidad residual, así como las necesidades de actuación y urgencia (Ávila M. Yoji, 2011).

#### **2.2.1.7. Mantenimiento**

Es el conjunto de actividades necesarias para que el nivel de servicios para el que ha sido proyectada la estructura, no disminuya durante su vida útil de proyecto. Estas actividades son tendentes a corregir errores detectados y a evitar que lleguen a cuestionar la seguridad de la estructura.

#### **2.2.1.8. Reparación**

Consiste en restituir los niveles originales de seguridad de la estructura, cuando estos se han reducido considerablemente por alguna causa. Consecuentemente, implica la existencia previa de un daño de cierta entidad (Ávila M. Yoji, 2011).

#### **2.2.1.9. Sustitución**

Se utiliza cuando el estado de deterioro de la estructura es tal que la mejor solución consiste en trasladar las cargas del elemento original a un nuevo elemento. La sustitución aporta un material nuevo que pasa a desempeñar la función resistente del elemento original (Ávila M. Yoji, 2011).

### **2.2.2. EL CONCRETO**

El concreto es una mezcla resistente y durable, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal que hace del concreto un material de construcción universal.

#### **Ventajas del Concreto:**

- Facilidad con la que puede conseguir piezas de cualquier forma mientras se encuentra en su estado plástico.
- Su elevada resistencia a la compresión, lo que lo hace un material adecuado para elementos sometidos a compresión.
- Elevada resistencia para soportar altas temperaturas, provenientes, por ejemplo, el fuego. También resistencia a la penetración del agua.
- Posee la característica de conseguir ductilidad.

#### **Desventajas del Concreto:**

- Material pesado con una relación peso/resistencia elevada.
- Debido a que muchas veces el concreto se prepara en el sitio, no hay un control de calidad tan bueno.
- Es sensible a determinados agentes agresivos, tanto de tipo físico como químico.
- Es un material de escasa resistencia a la tracción.

### 2.2.3. MUELLES MARÍTIMOS

Es una construcción de piedra, ladrillo o madera realizada en el agua, ya sea en el mar, en un lago o en un río, afianzada en el lecho acuático por medio de bases que los sostienen firmemente <sup>(8)</sup>. Además, se define como una obra de atraque que tiene zona de transferencia de mercancías en toda su longitud y además una explanada adyacente a dicha zona donde se realiza el almacenamiento provisional de la mercancía hasta que esta es definitivamente cargada a los medios de transporte terrestre <sup>(9)</sup>.

#### 2.2.3.1. Clasificación de Muelles

Los muelles generalmente se clasifican mediante dos criterios: el primero es de acuerdo a su funcionalidad de la obra y el segundo, se basa en la configuración de sus elementos.

##### 2.2.3.1.1. Por la funcionalidad

- **Comerciales:** destinados al comercio de mercancías y cuentan con una infraestructura logística y mercantil para distribuirlos a las zonas de consumo.
- **Pesqueros:** estos albergan buques y particularmente pequeñas embarcaciones, dependiendo el tipo de pesca ya sea industrial o artesanal.
- **Náutico-deportivo:** en este tipo de muelles se alojan yates y mega-yates, el cual deben garantizar una permanencia segura de los barcos durante estancias más o menos prolongadas.
- **Industriales:** dedicadas al uso de la construcción y reparación de buques o de otros elementos.
- **Militares:** destinados a un conjunto amplio de funciones destinadas al embarque y desembarque de pasajeros y vehículos, además deben presentar la característica que permitan la protección contra la fuerza del mar y contra el enemigo.

### 2.2.3.1.2. Por el tipo de estructura

#### ➤ **Partes de un muelle**

Alvarado E. Luis señala que las partes son:

- a) Molón de acceso: está constituido por un terraplén o plataforma construida con material de relleno, este material debe ser afirmado, rodillado y compactado. Sus taludes se encuentran protegidos por un enrocado acomodado por gravedad a manera de protección contra la erosión del mar. El molón no siempre termina en un uro de arranque conformado por tablestacas, esto depende de las condiciones geológicas costeras.
- b) Puente: es el tramo inicial del muelle que conecta el camino de acceso prácticamente en la batimétrica cero con el cabezo, tiene como finalidad facilitar el tránsito de los vehículos y peatones. La longitud está básicamente en función de dos factores:
  - La profundidad necesaria en el cabezo para que puedan fondear las embarcaciones. Se deben definir las características de las embarcaciones de diseño, se requiere alcanzar una profundidad mayor calado máximo, lo cual obliga al puente a prolongarse hasta llegar a la profundidad adecuada donde se iniciará el cabezo.
  - La ubicación debe estar fuera de la zona de formación de olas, ya que no permite el acoderamiento de embarcaciones al producirles excesivo movimiento.

El ancho del puente dependerá del requerimiento. Se considera 3.10m como ancho mínimo necesario para el tránsito de vehículos y grúas. La estructura básica del puente está conformada por cerchas, conjunto de pilotes y vigas prefabricadas de concreto armado sobre los cuales se apoyarán las losas prefabricadas de concreto armado. En cada pórtico dependiendo del diseño se deben hincar pilotes inclinados en sentido transversal al puente con la finalidad de controlar los desplazamientos laterales.



- c) Cabezo: es la parte más ancha donde termina el muelle. En el cabezo se efectúa la mayoría de operaciones de servicio tales como carga y descarga mediante grúas colocadas sobre el muelle u otro tipo de maquinaria que pueda prestar el mismo servicio.

La estructura básica del cabezo es similar a la del puente, con la diferencia que el espaciamiento entre pilotes es menor o igual, además está provisto de defensas para amortiguar el impacto de embarcaciones al momento de las maniobras, estas defensas en el caso de muelles artesanales consisten en la colocación de neumáticos o llantas.

- d) Defensa: cubre los bordes de atraque del cabezo del muelle. Generalmente están construidas con pilotes de madera de fibra larga, por cuarterones y tablas de madera, o por bloques y llantas de jebe. Tienen por objetivo evitar el impacto directo de las embarcaciones contra el muelle, estas defensas también disipan parte de la energía de impacto y reparten la energía remanente de manera uniforme. El impacto directo de las embarcaciones se origina por el acoderamiento, por acción del viento y las corrientes sobre la embarcación.

➤ ***Elementos de la estructura de un muelle***

- a) Pilotes

Son elementos estructurales hechos de concreto, metal y/o madera que son usados para construir cimentaciones cuando son profundas y son más costosas que las superficiales. (Braja Das, 2009) <sup>(10)</sup>.

- b) Losas nervadas

Son vigas paralelas al eje del muelle, que unen los pórticos entre si y sirven de losa o tablero de rodamiento. (Hincapié K, 2011) <sup>(11)</sup>.

c) Vigas transversales

Son aquellas que se encuentran perpendiculares al eje del muelle. En forma conjunta con los pilotes forman el pórtico resistente y reciben el tablero de rodamiento. (Aliaga G, 2011) <sup>(12)</sup>.

➤ Cerrados

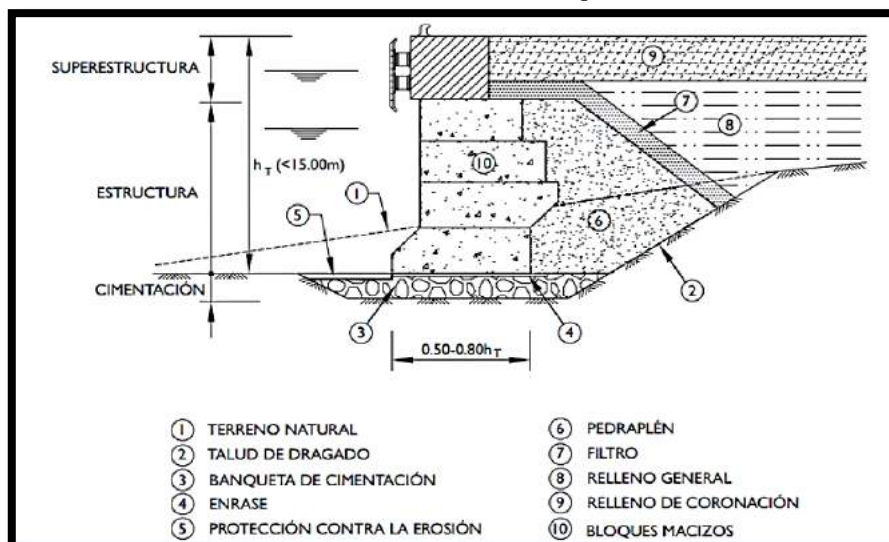
Ocón G. Erick (2014) <sup>(13)</sup> en su investigación clasifica los muelles de tipo cerrados de la siguiente manera:

a) De gravedad

Estructuras de atraque que soportan el desnivel de tierras de trasdós a trasdós fundamentalmente mediante el peso propio de la estructura. Estas a su vez se dividen en:

**De bloques:** está formado por una estructura de bloques pétreos o prefabricados de concreto, que pueden ser macizos o huecos y se rellenan generalmente con material granular.

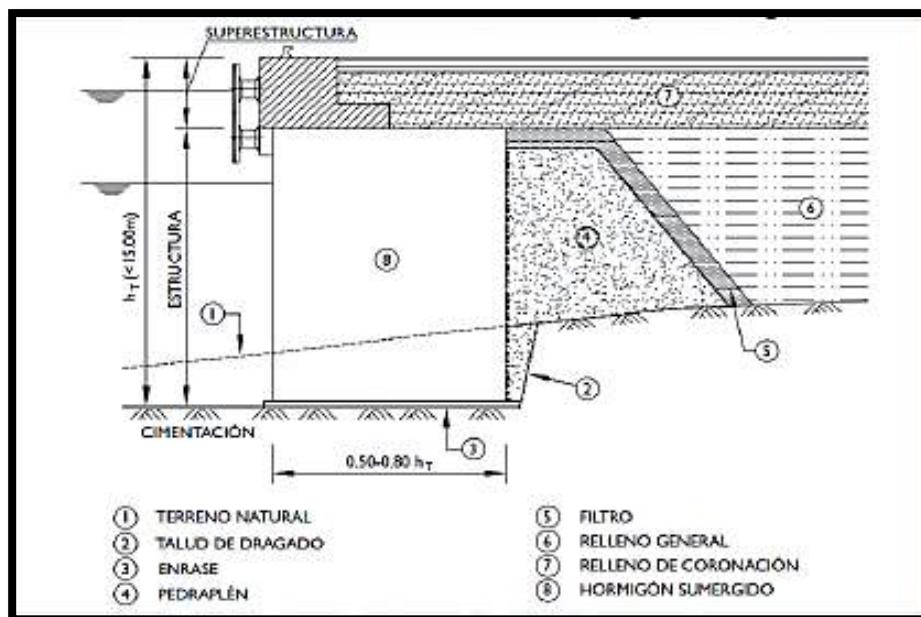
**Gráfico 4:** muelle de bloque



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

**De concreto sumergido:** construidos casi en su totalidad bajo el agua, a través del bombeo de concreto mediante una tubería en la zona a concretar.

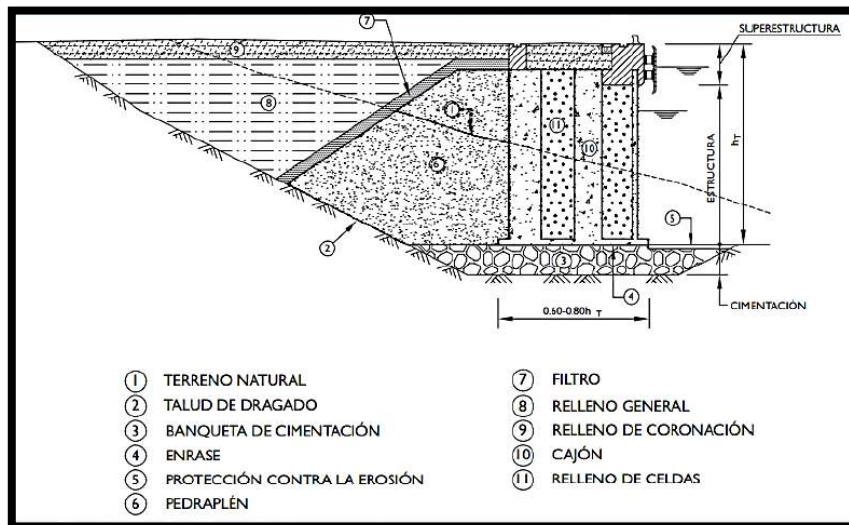
**Gráfico 5:** muelle de concreto sumergido



**Fuente:** Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

**De cajones:** construidos en su mayoría mediante cajones prefabricados de concreto armado con celdas interiores que aligeran su peso. Posterior a su construcción son fondeados y llenados con agua, material granular o concreto pobre.

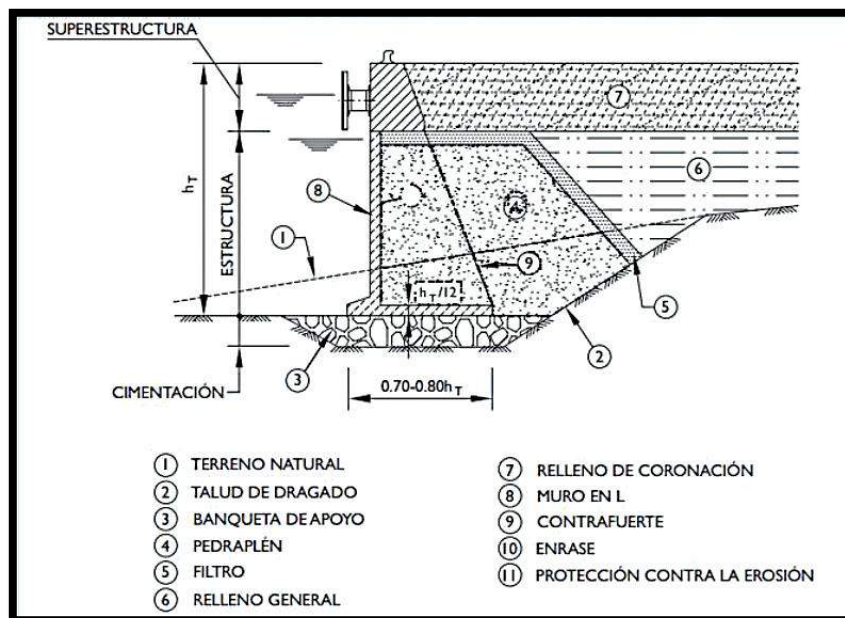
**Gráfico 6: muelle de cajones**



**Fuente:** Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

**Muros en L:** el funcionamiento de estos muelles es similar al de los muros de contención. Habitualmente el elemento en “L” se construye “in situ”.

**Gráfico 7: muelle de elementos en "L"**

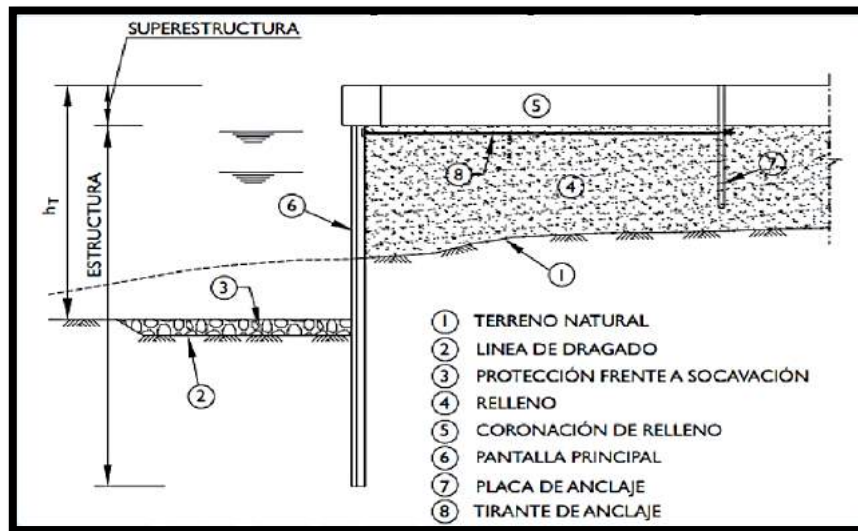


**Fuente:** Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

b) De pantalla

**De pantalla sin plataforma de descarga:** constituida por una pantalla vertical con anclajes que aumentan su capacidad resistente y rigidez.

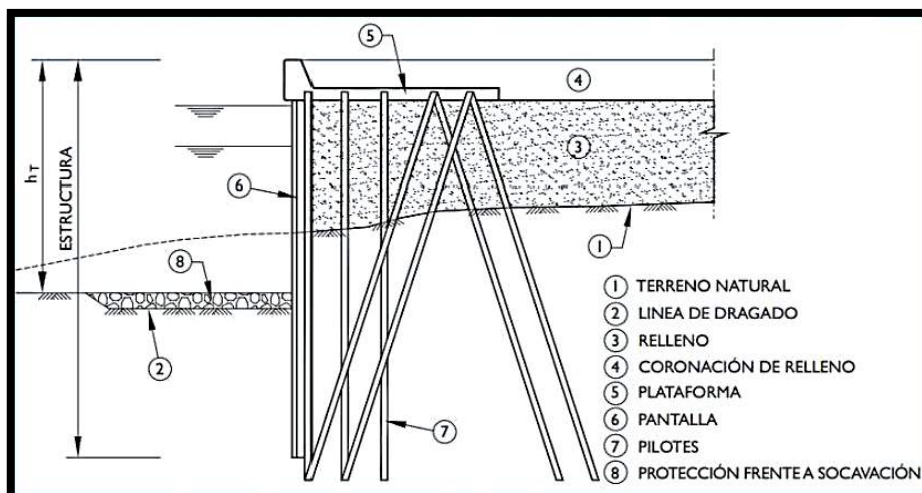
**Gráfico 8:** muelle de pantalla sin plataforma superior de descarga



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

**De pantalla con plataforma de descarga:** la estructura es la misma que la anterior, pero con la incorporación de una pantalla que transmite las cargas directamente a la cimentación.

**Gráfico 9:** muelle de pantalla con plataforma superior de descarga

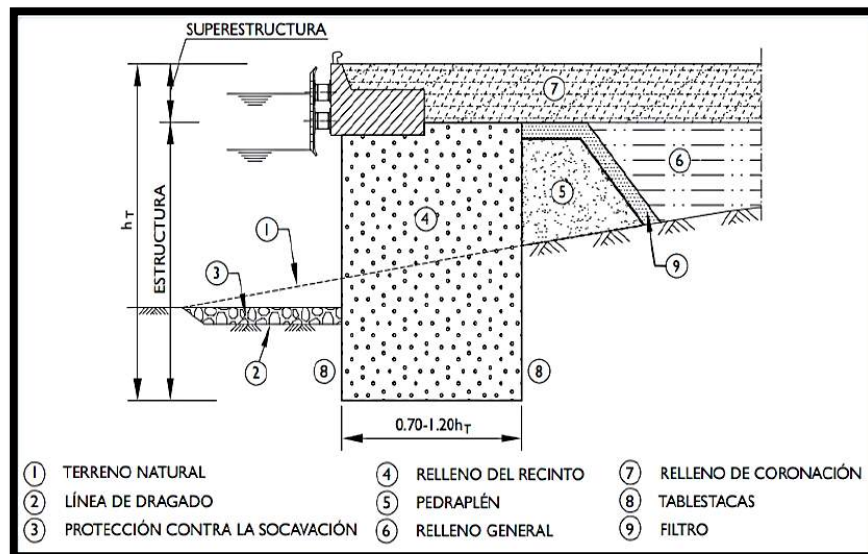


Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

c) Recintos de tablestacas

La estructura está formada por una pila de recintos formados por tablestacas metálicas, conectados entre sí, los cuales se pueden construir con varias configuraciones geométricas.

**Gráfico 10:** muelle de recintos de tablestacas



**Fuente:** Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

➤ **Abiertos**

Nuevamente Ocón G. Erick (2014) en su apartado menciona los muelles de tipo abierto de la siguiente manera:

Los muelles abiertos son aquellos en la que la estructura está formada por una plataforma sostenida en pilotes o pilas, siendo el parámetro que conforma la línea de atraque no continuo, permitiendo el paso del flujo del agua.

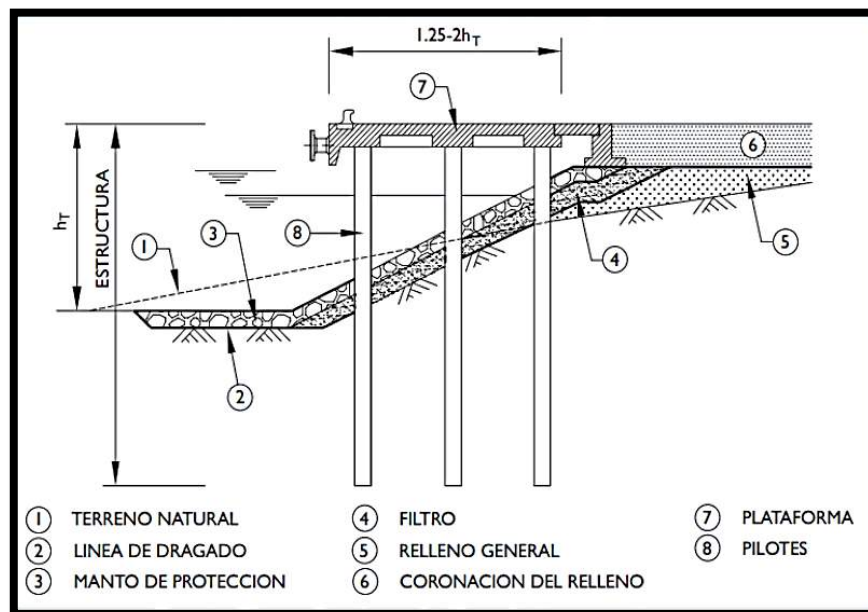
a) De pilotes

Está formada por una plataforma soportada por un conjunto de pilotes verticales y/o inclinados y, en el caso de que exista un relleno adosado, puede complementarse con una estructura de contención de tierras y de unión con la plataforma en la coronación del talud.

Su construcción está especialmente indicada en los siguientes casos:

- Cuando la capacidad portante del terreno es baja y/o altamente deformable.
- En zonas sísmicas donde la estructura con menor peso tiene mejor comportamiento.
- En lugares donde se pretende disminuir la reflexión del oleaje.

Gráfico 11: muelle de pilotes



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)

b) De pilas

A diferencia de la de los pilotes, la estructura en estos muelles se compone de una plataforma apoyada en pilas, generalmente constituidas por estructuras de gravedad.

## **2.2.4. EL MEDIO MARÍTIMO**

### **2.2.4.1. Agua de Mar**

Los constituyentes del agua de mar son los iones del cloro, sodio, magnesio, calcio y potasio y su mayor función la cumplen como un muy buen electrolito entre metales disímiles y entre concentraciones de sal y acero. Como el pH del agua de mar, es alrededor de 8, y la corrosión de la armadura ocurre con un pH por debajo de 11, la alcalinidad debe ser suplida por el cemento.

### **2.2.4.2. Organismos Marinos**

Los organismos que atacan al concreto son los moluscos, algas y bacterias. Las algas, así como los moluscos pueden ser un problema cuando la superficie del concreto es poroso lo que puede generar una pérdida importante de alcalinidad. Los moluscos ejercen una alta presión sobre la superficie, desde su etapa embrionaria hasta su madurez.

Esta presión puede erosionar o desgastar radialmente el concreto que se haya usado, además de depositar ácidos, que pueden disolver el cemento y son más agresivos en un concreto poroso. Asimismo, se debe tener en cuenta el crecimiento de las algas sobre la estructura, ya que pueden aumentar la rugosidad superficial influyendo en la estabilidad de la estructura. Cabe señalar que los ataques producidos por bacterias aeróbicas que transforman el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) en ácido sulfúrico que es altamente corrosivo tanto para el concreto como para el acero.

### **2.2.4.3. Temperatura**

La temperatura del agua es un factor determinante de las reacciones químicas y electroquímicas en las estructuras de concreto. En general, los climas cálidos o muy cálidos aceleran los procesos de inicio y progresión de los mecanismos de deterioro del hormigón. Debemos tener en cuenta la temperatura del aire a



la que está sometida la estructura, ya que el gradiente térmico generador de tensiones térmicas de la temperatura del aire es mucho más grande que el de la temperatura del mar.

#### ***2.2.4.4. Presión Hidrostática***

Actúa como una fuerza que conduce al agua de mar a intentar entrar en cualquier estructura marina que se encuentra sumergida. A mayor profundidad mayor presión y mayor fuerza va a tener el agua para tratar de penetrar la estructura. A la hora de proyectar y construir una estructura en el mar, debemos tener en cuenta la acción de la presión hidrostática, no debiendo aceptar estructuras de concreto porosos ni estructuras fisuradas.

#### ***2.2.4.5. Acción de las Mareas***

Las mareas también es uno de los factores a las que está expuesto la estructura marina. La parte de la estructura que está sometida a la intensa acción de las olas se denomina zona de salpicadura y puede ser atacada por erosión por cualquier sólido en suspensión que lleva las olas.

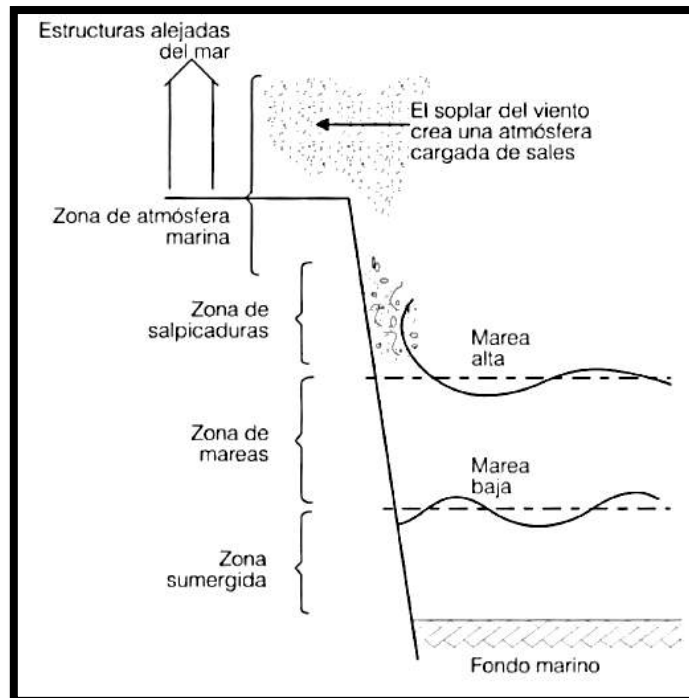
#### ***2.2.4.6. Zonas de Exposición Marinas***

El medio marítimo presenta diversos grados de agresividad de acuerdo al tipo de exposición en la que se encuentran. Las que podemos clasificar de la siguiente manera:

- a. Zona sumergida: es la zona por debajo del nivel de marea baja, donde el concreto siempre está saturado y el agua se penetra bajo presión cuando está a cierta profundidad.

- b. Zona de mareas: comprendido entre los niveles de marea alta y baja. El concreto no llega a secarse, por lo que siempre está saturado. En esta zona los cloruros avanzan lentamente por difusión, pero con el tiempo pueden alcanzar el nivel de armaduras.
- c. Zona de salpicaduras: situado por encima de marea alta y baja. Se humedece y seca alternativamente. en esta zona si hay acceso de oxígeno y elevada humedad, por lo que el riesgo de corrosión es alto.
- d. Zona de atmosfera marina: en esta zona el concreto nunca estará en contacto con el agua de mar. No obstante, recibe la brisa marina y niebla salina. El avance es más lento que el resto de las zonas, y tarda mucho en alcanzar la armadura. Cuando esto sucede, se produce corrosión porque hay oxígeno y humedad accesible.

**Gráfico 12:** zonas de exposición marinas



**Fuente:** Guía Técnica – Hormigón en Ambiente Marino

### **2.2.5. DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Cuando se habla de durabilidad, es indispensable pensar en los ambientes en los que la estructura va a desarrollarse y es indiscutible considerar el comportamiento del material en su desarrollo como objeto fundamental de estudio. Un concreto durable es aquel que por su configuración química, física y mecánica puede llegar a resistir ambientes exigentes como aquellos que están expuestos diariamente a dióxidos de carbono, cloruros y sulfatos, durante todo su periodo de vida útil (Osorio Jesús) <sup>(14)</sup>.

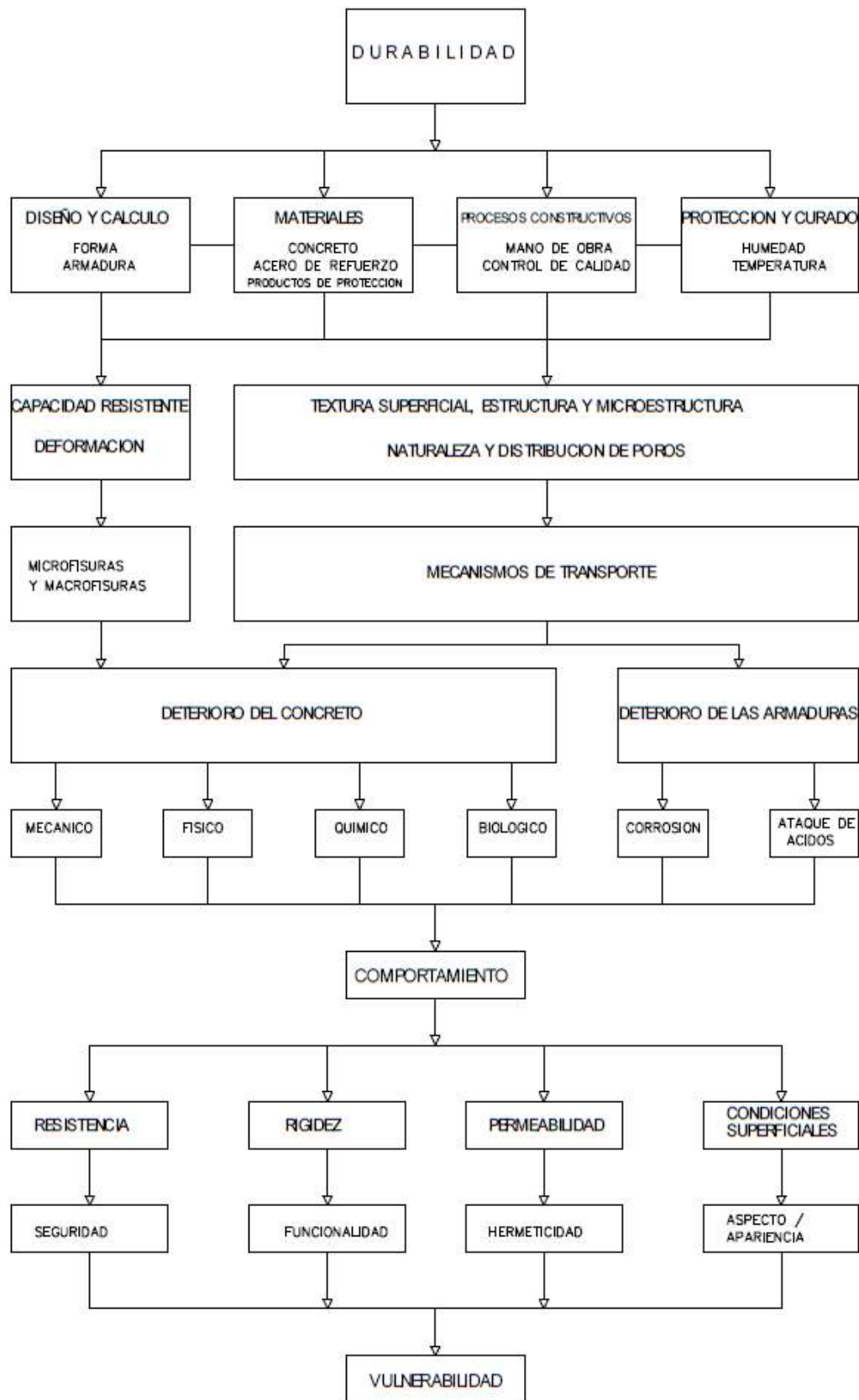
De acuerdo a lo dicho anteriormente se puede afirmar que no existe un concreto durable por sí mismo ya que las características químicas, físicas y mecánicas que pueden ser apropiadas para ciertas condiciones, no necesariamente lo acreditan para seguir siendo durable bajo condiciones diferentes.

El problema de la durabilidad es sumamente complejo en la medida en que cada situación de exposición ambiental y condición de servicio ameritan una especificación particular tanto para los materiales y diseño de mezcla como para los aditivos, la técnica de producción y el proceso constructivo, por lo que es usual que en este campo las generalizaciones resulten nefastas.

Si consideramos el modelo de la figura siguiente, como factores determinantes de la durabilidad de una estructura de concreto están: el diseño y el cálculo de la estructura (geometría y cuantía de acero de refuerzo); los materiales empleados (concreto, acero y productos de protección); y, los procedimientos de protección y curado (condiciones de humedad y de temperatura).

Esto genera una capacidad resistente y de deformación máxima permisible ante las cargas de servicio; desarrolla una textura superficial para el intercambio con el exterior (micro-clima); y también, permite obtener una estructura y una microestructura del concreto, que a su vez definen la naturaleza y distribución de poros al interior de la masa.

**Gráfico 13:** relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto



**Fuente:** Diego Sánchez de Guzmán (Durabilidad y Patología del Concreto) <sup>(15)</sup>

## **2.2.6. PATOLOGÍAS DE LOS COMPUESTOS DEL CONCRETO**

Los materiales que componen el concreto también experimentan cambios significativos y su selección debe estar basada en una calidad, una capacidad y una formulación. Además, la dosificación de los materiales debe hacerse por peso, con corrección de la humedad en los agregados, y con ajuste al agua de mezclado por absorción o aporte del agua libre de los mismos agregados.

### ***2.2.6.1. Patologías del Cemento***

El cemento es un conglomerante que tiene las propiedades de endurecerse al contacto con el agua. Los daños que puede presentar el cemento son:

- Falso fraguado debido a la hidratación rápida del yeso
- Retracción por exceso de calor de hidratación debido al  $AC_3$  (Aluminato Tricálcico).
- Fisuras debido al exceso de cal libre
- Reacciones con los áridos silicios, produciendo compuestos expansivos

### ***2.2.6.2. Patologías de los Agregados***

Los agregados son esenciales para definir la resistencia del concreto, y constituyen entre el 70 y el 80% del volumen del concreto. Las patologías más comunes son:

- El exceso de finos produce bajas resistencias.
- Los agregados muy alargados exigen mayor cantidad de agua y producen igualmente bajas resistencias.
- Cuando los agregados contienen azufre, como la pirita, la cual reacciona con el cemento dando compuestos expansivos que destruyen la masa del concreto.

### **2.2.6.3. Patologías del Agua**

La recomendación con respecto al agua es que debe ser potable y con ello se minimiza la existencia de daños graves. Con ciertas limitaciones, se puede usar agua no potable, como por el ejemplo el agua de mar para producir concretos en masa. Considerando que la resistencia del concreto disminuye en un 15% y normalmente aparece fluorescencia.

Con respecto al agua para el curado esta exige una óptima calidad, esto con el fin de evitar la formación de geles o residuos del agua en la superficie del concreto. Los daños causados debido al agua contaminada son:

- Sustancias nocivas disueltas en agua que producen corrosión química del concreto.
- Exceso de agua, que disminuye enormemente la resistencia final del concreto.

### **2.2.6.4. Patologías de los Aditivos**

Productos que al ser agregados a la mezcla mejoran sus propiedades con carácter permanente. Cabe señalar que si el concreto es defectuoso no será posible que el aditivo realice su trabajo. Los aditivos pueden presentar los siguientes daños:

- El mejorar una propiedad puede empeorar otra
- Si se usa en exceso pueden modificar su comportamiento en sentido contrario.

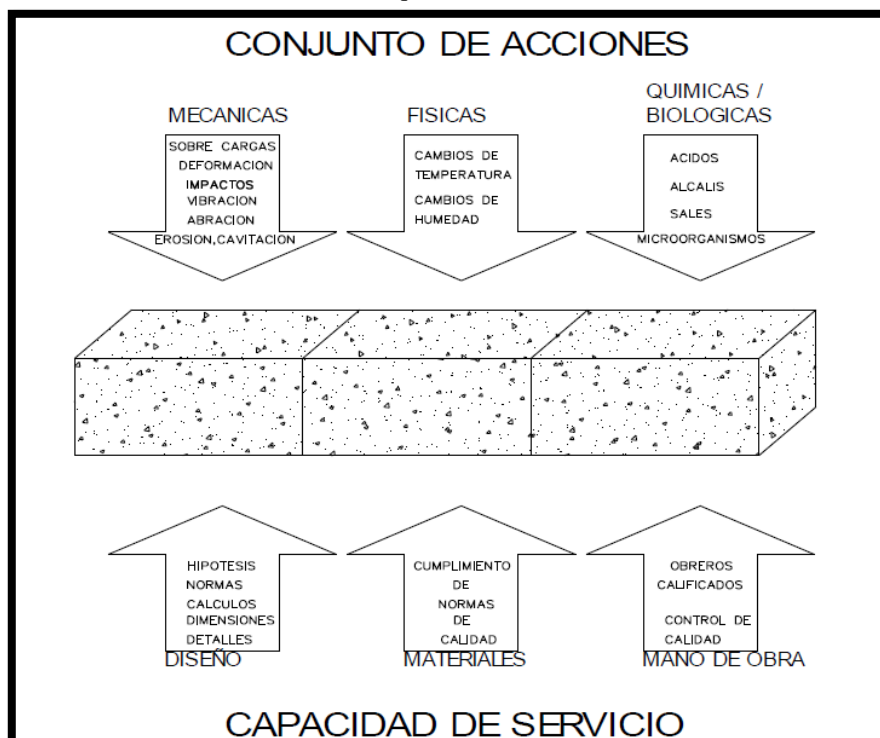
Los aditivos con menores problemas suelen ser los plastificantes, mientras que los inclusores de aire y los aceleradores de fraguado son los ms problemáticos.

## 2.2.7. ORIGEN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS EN EL CONCRETO ARMADO

La diversidad de patologías que se manifiestan en las edificaciones es infinita; además de ser un tema muy complejo. Difícilmente se logra determinar con precisión, las causas o motivos de muchas de las manifestaciones que presentan las estructuras; en muchos casos ni siquiera la experiencia de un experto es suficiente para dar una respuesta totalmente certera. Por ejemplo, las causas de aparición de una grieta en una edificación, pueden ser múltiples; algunas veces es posible identificarlas fácilmente, pero otras veces no lo es <sup>(16)</sup>.

De la figura siguiente podemos observar un conjunto de acciones en relación con una capacidad de servicio que afectan la durabilidad del concreto y pueden aclarar muchos conceptos sobre los mecanismos de falla de una estructura.

**Gráfico 14:** modelo de equilibrio de durabilidad del concreto



**Fuente:** Durabilidad y Patología del Concreto – Sánchez de Guzmán

### ***2.2.7.1. Patologías Causadas por Acciones Mecánicas***

#### ***2.2.7.1.1. Impacto***

Por impacto tenemos las continuas caídas de contenedores de las maquinas transportadoras, así también las malas maniobras en los acoderamientos de los buques, lo que provoca impactos horizontales en las estructuras causando roturas, que si no tienen una intervención inmediata es proceso de corrosión inminente.

#### ***2.2.7.1.2. Sobrecarga***

Pacheco Quintana señala que los excesos de carga que sobrepasan las cargas de diseño, sumado a los equipos modernos de operación de carga que tienen pesos no considerados en los diseños originales de las estructuras.

Cuando las sobrecargas exceden los límites establecidos por los coeficientes de mayoración pudieran producirse daños a largo o corto plazo. De acuerdo a lo dicho por Bozo Pinto y otros (1993) <sup>(17)</sup> los efectos de sobrecarga excesivas no se manifiestan de forma inmediata sino cuando han pasado meses e incluso años, de la puesta en servicio de la estructura. Además, los daños aparecidos como consecuencia de sobrecargas dependen de la intensidad y la duración de la acción.

#### ***2.2.7.1.3. Movimientos***

Se refiere a los movimientos excesivos que pueden ser provocados por la presencia de un sismo, o por las cargas vivas como por ejemplo las maquinarias que constantemente están en movimiento para el traslado de la carga lo que genera movimientos verticales.

Cuando hablamos de sismos depende de varios factores como: la fuerza y la duración del movimiento, el tipo de suelo, la tipología de la cimentación y de la estructura.



#### *2.2.7.1.4. Vibración*

Nuevamente Pacheco Quintana menciona que la vibración se refiere a oscilaciones mecánicas desde un punto de equilibrio. La vibración es uno de los efectos que pueden generar daños debido a la generación o contribución a:

- Inestabilidad de taludes
- Daños estructurales con afectaciones severas.

#### *2.2.7.1.5. Decoloración y Manchado*

Es la falta de uniformidad en el color o en el matiz de la superficie de un solo vaciado de concreto. Esta puede tomar la forma de manchas oscuras o de decoloración extendida sobre la superficie ya terminada, cambios fuertes de color en grandes áreas provocados por un cambio en la mezcla de concreto, o parches claros de decoloración provocados por eflorescencia, así como también como consecuencia de la meteorización.

#### *2.2.7.1.6. Fuego*

El fuego afecta las características resistentes y de deformaciones tanto del concreto como del acero, y las dilataciones que provoca generan a su vez incremento de tensión transmitidos a través de los nudos rígidos de la estructura.

El concreto comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380 °C en periodos prolongados de tiempo. A los 400 °C se produce una pérdida de resistencia entre 15-25 %, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800 °C, deja de poseer una resistencia a la compresión viable, y se debilita en mayor medida al enfriarse cuando se apague el fuego.

Los principales efectos del fuego sobre el concreto armado son:

- Daños a la adherencia por salto térmico entre las armaduras de acero y el concreto que las recubre.
- Pérdida significativa de espesor del recubrimiento del concreto, debida al efecto spalling o desprendimiento por explosión del concreto.
- Una disminución de la resistencia de las armaduras del acero cuando la temperatura supera los 250 °C.
- Daño o destrucción de la juntas y sellados, lo que en determinadas estructuras puede conducir al colapso.

Las altas temperaturas inciden también sobre las condiciones de adherencia entre el acero y el concreto. En efecto, estos dos materiales, a pesar de tener coeficientes de dilatación térmica muy parecidos, difieren significativamente en sus conductividades térmicas, siendo mucho mayor la del acero, lo que provoca que dicho material se caliente o se enfríe mucho antes que el concreto (Ávila M. Yoji, 2011).

La existencia de coqueras o debilitamientos en la sección del concreto, permite que las altas temperaturas atraviesen el concreto y lleguen a la armadura muy rápidamente. Debido a que el acero es un buen conductor, se calienta toda la barra de acero pero no el concreto. Como el acero tiende a dilatar y el concreto no. Esto produce compresiones y fisuras. Después se produce el enfriamiento y la rotura.

**Gráfico 15:** daños a la adherencia



Fuente: asefa seguros - patologías

**Tabla 1:** esquema temperatura, color y daño en el concreto por incendio

RANGO TEMPERATURA (°C)	COLORACIÓN SUPERFICIAL	DAÑO
0 - 300	Gris Natural	<b>Calcinación incipiente:</b> Microfisuras y mapeo superficial
300 - 600	Rosado	<b>Calcinación superficial:</b> Fisuración térmica por alabeo y Descarbonatación superficial
600 - 900	Gris Claro	<b>Calcinación avanzada:</b> Descarbonatación profunda y pérdidas de masa por descascaramiento
> 900	Blanco o Amarillo Claro	<b>Calcinación muy avanzada:</b> Descarbonatación avanzada y pérdida de masa

Fuente: adaptado de Avendaño R. Elizabeth (2006) <sup>(18)</sup>

## ***2.2.7.2. Patologías Causadas por Acciones Químicas***

### ***2.2.7.2.1. Desagregación***

Es un daño que se aprecia en la superficie del concreto, es producto por agentes químicos que atacan la pasta del cemento a través de diversos mecanismos. Muñoz Hidalgo (1994) <sup>(19)</sup> explica que cuando un elemento de concreto reforzado es atacado por un agente químico “desde su interior o le afecta desde el exterior, se deshace o se desmorona. A esta destrucción química se le llama desagregación, mientras que si el ataque y la destrucción es por un medio físico se llama disgregación”.

De acuerdo a Porrero y otros (2004) <sup>(20)</sup> señalan que “en el ataque externo del concreto, el agente agresor penetra por una superficie y va destruyendo la masa en una acción lenta y persistente que se denomina corrosión del concreto o desagregación”.

Según menciona Ramírez y otros (1985) <sup>(21)</sup> la desagregación ocurre cuando “el cemento va perdiendo su carácter conglomerante quedando, por consiguiente, los agregados libres de la unión que les proporciona la pasta”. Este fenómeno se inicia en la superficie de los elementos de concreto con un cambio de coloración y desintegración de la pasta de cemento.

### ***2.2.7.2.2. Descascaramiento***

Es la delaminación local o desprendimiento de una superficie terminada de concreto endurecido como resultado de su exposición a ciclos de congelación y deshielo. Generalmente comienza en pequeñas zonas aisladas, que después pueden fusionarse y extenderse a grandes áreas. El descascaramiento ligero no expone al agregado grueso. El descascaramiento moderado expone al agregado y puede incluir pérdidas de 3 a 10 mm del mortero superficial. En el caso de descascaramientos severo la mayor parte de la superficie se pierde y el agregado está claramente expuesto y sobresale.

#### 2.2.7.2.3. *Eflorescencia*

Son manchas blanquecinas que aparecen debido a la precipitación de algunas sales. De acuerdo a Porres y otros (2004) la eflorescencia surge “como consecuencia de distintos tipos de sales solubles que son transportadas con el agua de mezclado o el agua de lluvia, las cuales precipitan y se recristalizan cerca o lejos de la superficie”.

Las causas principales son la presencia de sales solubles y la humedad, esta última permite la disolución de las sales, y luego al evaporarse, la precipitación. Las sales pueden ser carbonatos, sulfatos, nitratos o cloruros.

#### 2.2.7.2.4. *Ácidos*

Según Porto Q. Jesús (2005) <sup>(22)</sup> al ser el concreto un material de naturaleza alcalina, los ácidos reaccionan con los hidróxidos (cálcico, sódico y potásico) para formar sales que degradan al concreto. Debido al marcado carácter alcalino de la pasta de cemento, causado por hidróxido cálcico procedente de la hidratación de los silicatos, los distintos tipos de ácidos atacan generando las llamadas sales cálcicas. Estas sales son solubles y su eliminación provoca el aumento de la porosidad del concreto dejando una mayor superficie expuesta al ataque. La velocidad de ataque de los ácidos en el concreto depende del pH que posean (se consideran altamente agresivos cuando son menores de 4).

Son agresiones ácidas típicas los medios industriales donde se dan ácidos fuertes orgánicos e inorgánicos, como la industria alimentaria (lácteos, aceites, abonos, vinagres, etc.) y la industria química.

#### 2.2.7.2.5. Agua de mar

Cerna V. y Galicia G. (2010) <sup>(23)</sup> dice que la destrucción del concreto por acción del agua de mar es debida a uno o varios de los siguientes factores:

- Acción mecánica del oleaje.
- Evaporación provocada por el viento lo cual deposita las sales por encima del nivel de zona sumergida.
- Diferencia de mareas que favorece la acción destructiva debido a la cristalización de sales.
- Reacción química entre las sales del agua y el concreto, la cual favorece a la corrosión del acero de refuerzo.
- Los organismos marinos y los productos de su actividad biológica.
- La acción destructiva debido a la corrosión y expansión del acero de refuerzo.

#### 2.2.7.2.6. Reacción árido-álcali

Se conocen tres versiones distintas, que son el álcali-sílice, el álcali-silicato y el álcali-carbonato.

La reacción álcali-sílice, este tipo de ataque es la que se produce entre los álcalis del cemento y la sílice de terminados áridos que en presencia de agua suficiente pueden provocar una expansión destructiva. Esta reacción se produce al ser atacados los minerales silíceos del árido por los hidróxidos alcalinos derivados de los óxidos de sodio y potasio. El gel que se forma en la reacción absorbe agua sufriendo una fuerte expansión, que al estar impedida por la pasta endurecida del cemento da lugar a l creación de fuertes tensiones que fisuran el concreto.

La reacción álcali-carbonato, no se le da mucha importancia como a la de álcali-sílice, pero suele dar problemas importantes sobre todo cuanto mayor es el contenido de alúmina que posean. Un factor para distinguirla de la reacción entre álcali-sílice es la usencia de gotas gelatinosas en los agrietamientos, y en algunos casos el hecho de que las juntas de expansión aparecen cerradas rodeadas en ocasiones de concreto desmoronando.

#### 2.2.7.2.7. Porosidad

La porosidad de la masa del concreto la aporta fundamentalmente la pasta del cemento endurecida y es a través de ella que el agua ejerce su función de vector de transferencia de los elementos agresivos externos, razón por la cual la relación agua/cemento, el grado de hidratación y la cantidad de pasta son factores determinantes en la cantidad y tipos de poros en el concreto.

Los nuevos conocimientos científicos avalados por la práctica de producción aportan que en el diseño de las mezclas de concreto hay que tener en cuenta los siguientes factores que garantizan su máxima compacidad y por ende, su durabilidad:

- a) La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor volumen de vacío que será ocupado por la pasta de cemento endurecida.
- b) La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.
- c) La influencia de la relación agua – cemento, la cual podrá ser mejorada substancialmente con el uso de aditivos químicos.
- d) La influencia del grado de hidratación del cemento en la cantidad de poros del concreto endurecido.
- e) La influencia de la “característica” de los áridos que se empleen en la calidad final del concreto.

El concreto es un conglomerante de partículas formado por un cierto volumen de áridos, un cierto volumen de masa aglutinante y un cierto volumen de huecos. De la relación entre estos volúmenes dependerá en gran medida la porosidad y por tanto la durabilidad del concreto. Ávila Yoji (2011) señala que la importancia de la granulometría en la compacidad del volumen de áridos es enorme. Una granulometría que lleve a un conjunto cerrado dota al hormigón de una estructura interna más durable. Por otro lado, la propia masa aglutinante (conglomerantes + aditivos + adiciones + agua) tampoco debe considerarse como un volumen compacto.

La cantidad de agua adecuada para conseguir la plasticidad adecuada a los medios de compactación y a la geometría de la pieza, es superior a la necesaria

estrictamente para producir las reacciones químicas de hidratación del conglomerante.

Tradicionalmente se consideran hormigones de baja porosidad aquellos que presentan valores inferiores al 10% y de alta porosidad (y con problemas de durabilidad “a priori”) aquellos que dispongan de una porosidad superior al 15%. Esta simplificación debe considerarse meramente orientativa.

La red capilar es la que permite el transporte de líquidos y gases (y el intercambio de sustancias disueltas) por el interior de la masa del hormigón, y por tanto, es el vehículo que posibilita distintos ataques que posteriormente se estudiarán.

#### *2.2.7.2.8. Ataque por sulfatos*

El sulfato puede provenir de los propios áridos y otros componentes del concreto, de los suelos con yesos y otros sulfatos, de suelos con abonos (sulfato amoniacal) y de las aguas que lo atraviesen. Porto Quintan agrega que el ataque por sulfatos es el ataque más perjudicial de los diferentes ataques que pueden desarrollar los aniones que componen las sales. Los sulfatos centran su ataque en el cemento creando unos componentes fuertemente expansivos que provocan la destrucción del concreto. El mecanismo de actuación es el siguiente: los iones sulfato reaccionan con el aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) del cemento en presencia de agua dando sulfoaluminato tricálcico, más comúnmente conocido por etringita, y en menor medida yeso. La etringita presenta la particularidad que su volumen es un 250% superior al aluminato origen, dando lugar a una fuerte expansión que disgrega el hormigón por la mencionada destrucción del cemento que deja suelto el árido. Esto provoca una fisuración irregular que permite el acceso de los sulfatos y de ataques posteriores. La degradación del hormigón comienza en la superficie con un cambio de coloración seguido de la aparición de fisuras entrecruzadas cuyo espesor aumenta a la vez que el hormigón superficial sufre una delaminación con curvado de las capas más externas debido a las tensiones que producen la expansión de los productos producidos.



### **2.2.7.3. Patologías Causadas por Acciones Físicas**

#### **2.2.7.3.1. Fisuración**

➤ ***Fisuras del concreto en estado plástico***

- a) ***Fisuras por retracción plástica:*** ocurre cuando está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío (ACI 224. 1R-93) <sup>(24)</sup>.

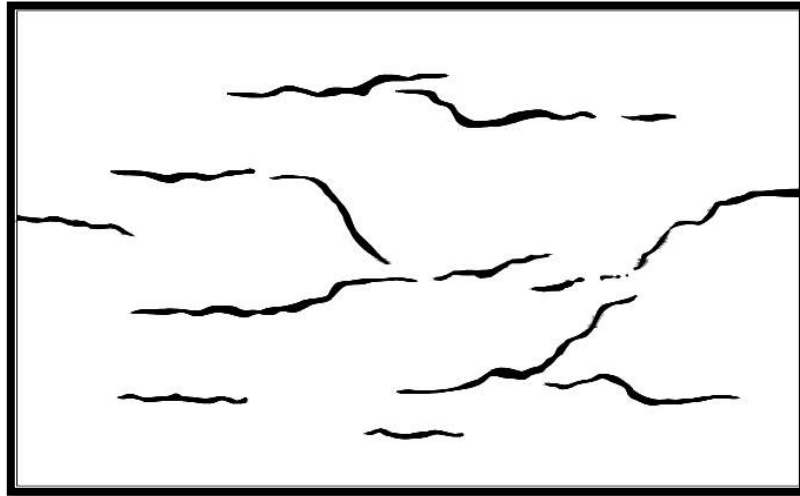
Generalmente, la causa que genera estos tipos de fisuras es el rápido secado del agua exudada. El momento en el que aparecen las fisuras coincide precisamente con el de menor deformabilidad a tracción (elongabilidad) del material dentro de la fase plástica.

Las fisuras por retracción plástica aparecen entre la primera y octava hora, aproximadamente, después del vertido del concreto, aunque a veces pueden aparecer al día siguiente. Comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento.

A menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 metros.

De lo anterior se deduce la importancia del proceso de curado para evitar este tipo de fisuras, puesto que será el aporte complementario de agua lo que suplirá los efectos de la evaporación excesiva en los momentos críticos en que la elongabilidad de la masa es menor, lo cual se presenta de las 2 a las 6 horas posteriores al vertido del hormigón o un poco antes en tiempo muy caluroso.

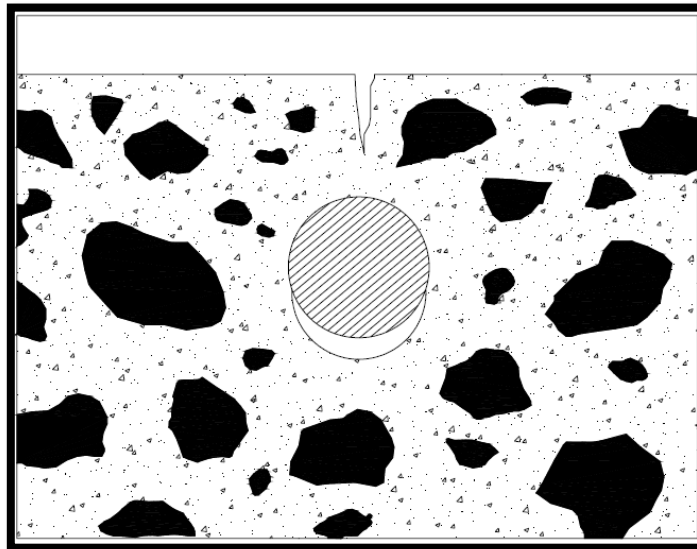
**Gráfico 16:** fisura por retracción plástica



Fuente: Price, 1982

- b) Fisuración por precipitación de los agregados: el comité ACI 224 señala que luego del vaciado, vibrado y el acabado, el concreto tiende a continuar consolidándose. Durante este periodo el concreto plástico puede estar restringido por las armaduras, por una colada previa de concreto o por los encofrados. Estas restricciones localizadas pueden provocar vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción. Si está relacionado con las armaduras, la fisuración por asentamiento de los agregados aumenta a medida que aumenta el tamaño de las barras, que aumenta el asentamiento del concreto y disminuye el recubrimiento.

**Gráfico 17:** fisuración por precipitación de agregados



Fuente: Price, 1982

➤ ***Fisuración del concreto endurecido***

- a) ***Retracción por secado:*** es la reducción del volumen del concreto causado por la pérdida física y química del agua durante la fase final de su proceso de endurecimiento y la subsiguiente exposición en un ambiente no saturado de humedad. De acuerdo a lo dicho por el comité ACI 224 señala que la retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0.06%. Cuando se humedece el concreto tiende a expandirse.

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón. Si la retracción del hormigón se produjera de manera no restringida el hormigón no se fisuraría. Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón éste se fisura. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la

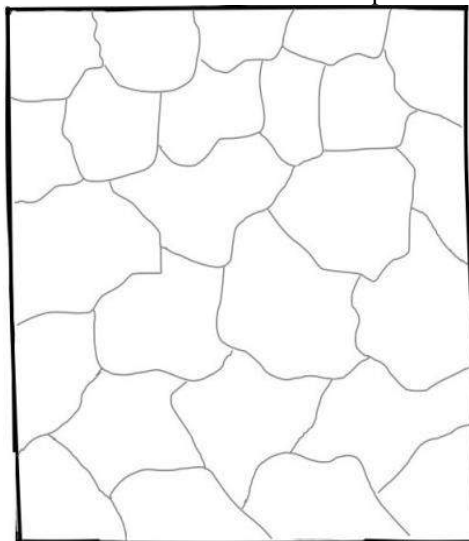
fisuración. La fisuración superficial irregular en muros y losas (piel de cocodrilo) constituye un ejemplo de retracción por secado a pequeña escala. Generalmente hay fisuración irregular cuando la capa superficial tiene mayor contenido de humedad que el interior del hormigón. El resultado es una serie de fisuras finas y poco profundas, con poca separación. La retracción por secado se puede reducir aumentando la cantidad de agregado y reduciendo el contenido de agua. Un procedimiento que ayudará a reducir la fisuración por asentamiento de los agregados, como así también la retracción por secado de muros, consiste en reducir el contenido de agua del hormigón a medida que se cuela el muro, desde la parte inferior a la parte superior. Usando este procedimiento, el agua de exudación de las partes inferiores del muro tenderá a igualar el contenido de agua dentro del muro. Para que este procedimiento sea exitoso es fundamental controlar el hormigón cuidadosamente y compactarlo de manera adecuada.

b) *Fisuras por cambio de temperatura:* Pacheco Quintana (2013) explica que los daños debido a los cambios de temperatura se encuentran los siguientes mecanismos:

- ✓ **contracción térmica inicial**, en condiciones normales el concreto no disipa el calor a suficiente velocidad y alcanza temperaturas más altas que el ambiente. Generalmente aparecen entre el primer y el quinto día de vida del hormigón como micro-fisuras y se presentan por un enfriamiento superficial más rápido que el interior de la masa, lo cual genera un estado de tracción en la zona superficial y un estado de compresión en su núcleo.
- ✓ **dilatación y contracción por temperatura**, el concreto como la mayoría de materiales que se utiliza en la construcción, se dilata por el aumento de temperatura y se contrae cuando la temperatura baja. Estos cambios de temperatura producen agrietamiento indebido y particularmente cuando se restringe el movimiento por alguna causa o se combina con la contracción por secado.

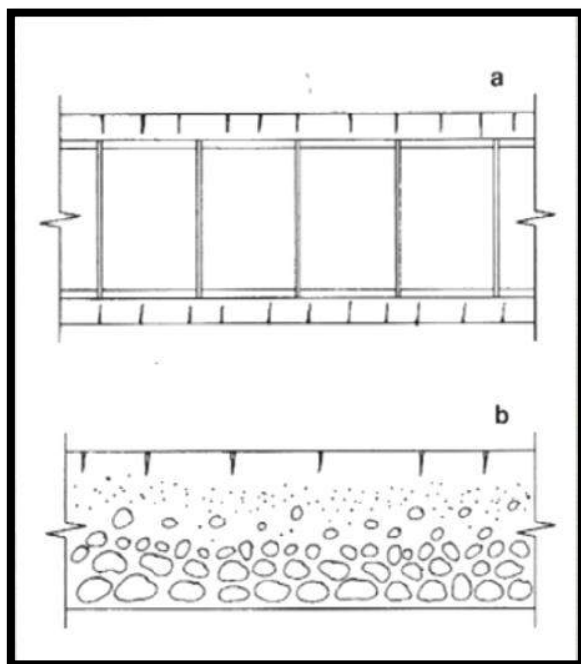
c) Fisuras en mapa: nuevamente Ávila Yoji (2011) señala que las fisuras en mapa son un tipo de retracción plástica superficial intensa, generalmente de menos de 1 cm de profundidad y de 0,05 a 0,5 mm de anchura aproximadamente, que aparecen habitualmente entre uno y quince días después del hormigonado, durante la fase de endurecimiento, dibujado una especie de red en forma de malla de 5 a 10 cm. de lado, a modo de piel de cocodrilo. Su formación se debe fundamentalmente a la retracción causada por unas condiciones extremas de sequedad atmosférica, en unos momentos en que el material aún no ha adquirido toda su capacidad de deformabilidad a tracción. Las losas de la figura N°14 ilustran estos últimos casos: la primera representa a una solera excesivamente vibrada, con una clara disgregación del árido en su sección y una acumulación de árido fino en la parte superficial que es la fisurada; y la segunda, la fisuración del grueso del recubrimiento de una pieza, inducida por efecto rigidizador de la armadura sobre el núcleo de la misma. La mejor manera de prevenir en lo posible estas fisuras consiste en evitar las mezclas demasiado ricas en cementos o con demasiado contenido de agua, proceder a un buen compactado y evitar los acabados superficiales demasiado pulidos que eleven en exceso el contenido de pasta de cemento junto a la superficie en contacto con el exterior.

**Gráfico 18:** Fisuras en Mapa



**Fuente:** Internet

**Gráfico 19:** Fisuras en mapa en losas de concreto simple y concreto armado



Fuente: Ávila Yoji (2011)

#### 2.2.7.3.2. Erosión

En el concreto hay dos maneras de manifestarse: abrasión y cavitación. Ambas son típicas de las obras hidráulicas en las que el agua a gran velocidad provoca un desgaste superficial de la estructura.

##### ➤ *Erosión por abrasión*

Es el desgaste de una superficie producido por fricción o frotamiento causado por diferentes tipos de sólidos que rozan la superficie del concreto. Además, el agua cuando se desplaza a gran velocidad y choca contra la superficie del concreto, desgasta primero la pasta del cemento para pasar después al árido fino haciéndolo saltar y acabar finalmente con el árido grueso provocando la formación de huecos en el concreto.

##### ➤ *Erosión por cavitación*

Se produce cuando las estructuras de concreto armado están destinadas a estar en contacto con corrientes de agua. Cuando el paso del agua

encuentra algún cambio de geometría mal diseñado puede provocar que el flujo de agua se separe de las paredes del conducto de concreto, creando en estos sitios zonas de baja presión. Si la presión estática de la corriente de agua llega a ser menor que la presión de vapor, se forman burbujas de vapor de agua en estas zonas. Si dichas burbujas fluyen hacia zonas en donde la presión estática de la corriente supera a la presión de vapor de agua, el vapor de las burbujas se condensa y estas estallan con brusquedad. Esta situación unida a la presión existente genera ondas expansivas, similares a las explosiones, que provocan picaduras y roturas superficiales de cierta amplitud.

#### *2.2.7.3.3. Agrietamiento*

Debido a que la capacidad del concreto de deformarse por esfuerzos de tracción es baja, lo que explica que las grietas siempre se forman por tracción. Nuevamente Porrero y otros (2004) dicen que una grieta es la “separación total o parcial de dos o más partes de un elemento de concreto producida por rotura o fractura”. Además, mencionan que las grietas pueden ser activas o estabilizadas, donde las activas son aquellas cuyo ancho de abertura cambia con las acciones externas (temperatura, cargas cíclicas y otras); las grietas estabilizadas son grietas cuyo ancho no cambia con el tiempo; pueden ser selladas con productos relativamente rígidos.

Algunas grietas no comprometen el comportamiento estructural del concreto, sin embargo, permiten la entrada de agua o de sustancias agresivas que podrían corroer el acero. La posición y forma de las grietas en los elementos estructurales, son aspectos que deben observarse y analizarse para poder determinar la sollicitación que les dio origen, o si éstas son debidas a la corrosión del acero.

- ***Grietas en una dirección:*** las grietas en el concreto es el indicativo más fiable de futuros problemas en el elemento, por lo tanto, es importante determinar su causa. Las grietas en una dirección son fisuras lineales en el concreto causadas en muchos casos por esfuerzos debido a la carga viva y muerta.
  
- ***Grietas en dos direcciones:*** la causa principal de las grietas en dos direcciones es la fatiga causada por la repetición de carga viva. La extensión y el patrón de la malla de la grieta deben ser cuidadosamente inspeccionados, ya que es una de las señales más claras del deterioro.

#### 2.2.7.3.4. *Corrientes*

Las corrientes son producto de la acción del viento, la variación de las mareas y el oleaje, es importante conocer sus velocidades y direcciones a diferentes profundidades, ya que están ampliamente relacionadas con el desarrollo de cualquier proyecto sobre el mar. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta de las corrientes para la construcción de muelle es el arrastre o socavación de materiales del fondo marino.

Las corrientes suelen afectar de forma directa e indirecta el dragado. La primera corresponde al transporte de sedimentos generado por el desplazamiento de las masas de agua a determinada velocidad y rumbo.

La segunda corresponde a las labores de mantenimiento; es decir cuando se llevan a cabo trabajos de dragados en la zona. Suelen presentarse problemas cuando la dirección de la draga y la corriente sean diferentes. Cuando la corriente es en sentido transversal a la draga de succión con cortador, se presentan problemas en el winche que abanica la draga, debido a las presiones generadas por la corriente.



#### **2.2.7.4. Patologías Causadas por Agentes Biológicos**

Avendaño R. Elizabeth (2006) menciona que la presencia de organismos y microorganismos de origen vegetal o animal en la superficie de concreto, no solo afecta la estética de la obra, sino que puede producir daños y deterioros físicos, mecánicos, químicos y biológicos.

Por ejemplo, la vegetación y los microorganismos asociados a la misma, pueden retener y generar humedad (ciclos de humedecimiento y secado). En el desarrollo de la vida de las plantas y microorganismos, se generan sustancias que pueden causar ataques químicos, como los ácidos húmicos y sales producto de la descomposición vegetal.

Las condiciones que favorecen el establecimiento y desarrollo de microorganismos de origen vegetal y animal, son las siguientes:

- La presencia de agua: cualquier tipo de vida necesita la presencia de agua para desarrollarse.
- Condiciones ambientales: las bacterias aeróbicas requieren concentraciones de oxígeno superiores a 1 g/l, mientras que las anaeróbicas requieren apenas 0.1 g/l de oxígeno. La temperatura ambiental entre 20 y 35°C y la humedad relativa superior al 80%, favorece el desarrollo de bacterias.
- Superficie de colonización: se facilita la creación de colonias de microorganismos en superficies rugosas o ásperas, que ofrecen la posibilidad de anclaje.

El principal mecanismo de meteorización y deterioro de origen biológico es el ataque que producen las sustancias ácidas provenientes de la acción metabólica de los microorganismos y los productos de la degradación de hidrocarburos.

Los ácidos disuelven la pasta de cemento y algunos agregados, además favorecen la corrosión del acero de refuerzo. Entre las sustancias agresivas producto del metabolismo de las bacterias, se tienen: el ácido sulfúrico, nítrico, cítrico, acético y húmico. Algunos microorganismos, tienen la capacidad de

oxidar los hidrocarburos en medios acuosos, produciendo dióxido de carbono, metano, sales solubles, benceno, tolueno, hierro reducido y ácido acético.

**Tabla 2:** Microorganismos y acciones sobre el concreto

MICROORGANISMOS	ACCIONES
Bacterias	La mayoría necesita CO <sub>2</sub> para sus procesos metabólicos y excretan ácidos orgánicos, oxidan el azufre en sulfato, el cual se mezcla con el cemento para formar sulfatos de calcio que produce ataques de sulfatos en el concreto. Además, forman nitratos, ácido sulfúrico, ácido acético y gas sulfhídrico causante de corrosión del acero.
Hongos	Los hongos son vegetales inferiores abundantes en el suelo y aire. Producen daños mecánicos por le agrietamiento que causa el crecimiento de raíces dentro del concreto, además de ataque de ácidos orgánicos y formación de manchas y moho.
Algas, líquenes y musgos	Son organismos vegetales (plantas) relacionadas con el medio acuático. Utilizan el calcio y magnesio del cemento como alimento, generan grietas y fisuras que facilitan la entrada de sustancias agresivas.

**Fuente:** Avendaño R. Elizabeth (2006)

Las características físico-químicas del agua de mar, son favorables para el desarrollo de la vida, y por esta razón la flora y fauna son tan ricas en el océano. Los principales organismos que atacan la estructura del concreto son los cuerpos incrustados que se fijan a las estructuras causando daños directamente, desgastando parte de la estructura, o de una forma indirecta, la producción de residuos metabólicos, enzimas y ácidos.

Organismos tales como los moluscos, crustáceos, equinodermos y algas, que son ejemplos de incrustadores, afectan tanto positiva como negativamente las estructuras de concreto. La forma negativa es equivalente a lo que se ha mencionado anteriormente, provocando desgaste superficial o el aumento de peso de la estructura.

Otro ejemplo es el efecto ambiguo de las algas. Estos pueden ser considerados perjudiciales para las estructuras cuando observamos que forman compuestos de azufre, ácido carbónico y dióxido de carbono. Por otro lado, las algas en las

zonas sumergidas pueden sellar la superficie de la estructura mejorando así su durabilidad.

#### ***2.2.7.5. Patologías de la Armadura***

A pesar de la variedad de procesos nocivos para el concreto descritos anteriormente, el problema más importante para los elementos estructurales del concreto armado es la corrosión. Muchos estudios realizados señalan que los daños en las estructuras se deben a problemas de la corrosión. La mayoría de los casos se dan en ambientes húmedos y en ambientes urbanos y marinos.

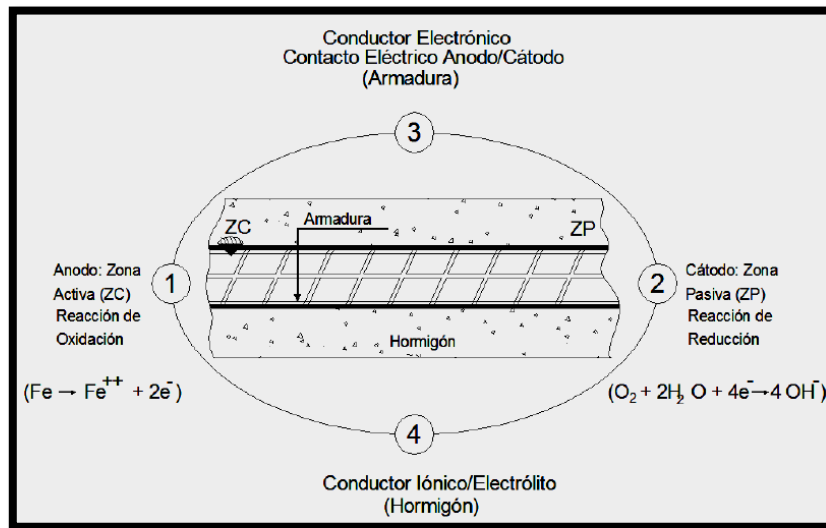
##### ***2.2.7.5.1. La corrosión del acero***

La corrosión, puede definirse como la interacción de un metal con el medio que lo rodea, ocasionando el deterioro de sus propiedades tanto físicas como químicas. La corrosión, no solo afecta la integridad estructural de una edificación de concreto armado, sino que además compromete la seguridad de las personas que se encuentran en ella.

La característica fundamental de este fenómeno, es que solo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas. La anódica es la zona donde se genera la disolución del metal (corrosión) y la catódica, donde el metal permanece protegido.

Ávila M. Yoji, (2011) dice que, para el proceso de corrosión del acero en presencia de agua y oxígeno, el agua actúa de electrolito y ánodo y cátodo están muy próximas, incluso en el mismo grano. El óxido se forma y deposita fuera de la superficie, lo que permite que la corrosión fuera continua. El electrolito es en el concreto el líquido de los poros (pH 12-13). En estas condiciones el producto del proceso anódico no es  $Fe^{++}$  sino  $Fe_3O_4$ , que se deposita en la superficie del metal como una fina capa protector que bloquea la corrosión (pasivación).

**Gráfico 20:** representación electroquímica del concreto y el acero



Fuente: Internet

#### 2.2.7.5.2. Formas de corrosión

➤ **Naturaleza de la sustancia corrosiva**

La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca, para la primera se requiere un líquido o humedad mientras que la segunda, las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura.

➤ **Mecanismo de corrosión**

Comprende las reacciones químicas o bien las reacciones electroquímicas.

➤ **Apariencia de metal corroído**

La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas.

#### 2.2.7.5.3. Tipos de corrosión

De acuerdo al artículo “Patologías de la Edificación 24”<sup>(25)</sup> menciona los siguientes tipos de corrosión:

➤ ***Según el medio***

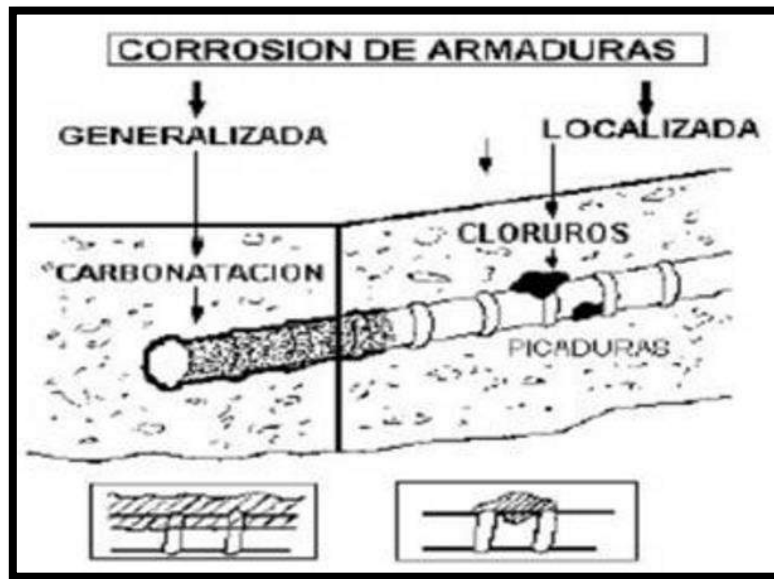
- a) Química: reacciones producidas por la acción del medio ambiente (agua, ambientes marinos, gases industriales, etc.). las estructuras expuestas a estos medios sufren efectos corrosivos debido a la acción de cloruros, que son arrastrados por el viento y depositados en el acero, que son ciclos alternados de humedad posibilitan la reacción de celdas galvánicas.
  
- b) Electroquímica: la corrosión no se distribuye de manera uniforme sobre la superficie del hierro, sino que queda localizada en determinadas zonas (ánodos) de las que fluye una corriente eléctrica hacia las zonas protegidas (cátodos), al darse corrientes eléctricas entre dos zonas del material con diferentes potenciales. Este tipo de corrosión es la más peligrosa.

➤ ***Según su forma***

- a) Corrosión uniforme: la corrosión química o electroquímica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal.
  
- b) Corrosión localizada: se produce en algunos sectores del metal, es la más peligrosa.
  
- c) Corrosión intergranular: se produce en los límites del metal, ocasiona pérdidas de resistencia del material. Común en aceros inoxidable.
  
- d) Corrosión por picadura: se producen hoyos o agujeros por agentes químicos, se puede encontrar en la superficie del metal y se presenta como túneles pequeños y a escala microscópica.
  
- e) Corrosión por esfuerzo: producida por los esfuerzos externos a la que se es sometido el material. También puede ser causado por esfuerzos internos, producidos por remaches, pernos.

- f) Corrosión por fatiga: pérdida de la capacidad del metal para resistir los esfuerzos, rompe la película de óxido produciendo una mayor exposición.
- g) Corrosión por fricción: se produce por el roce entre dos metales produciendo así un daño material de los metales. El calor de la fricción elimina el óxido.
- h) Corrosión selectiva: proceso donde es eliminado un elemento debido a una interacción química (ejemplos más conocidos: desincificación, grafitica).
- i) Corrosión bajo tensión: ocurre cuando el metal es sometido a la acción de tensiones, aparece como fisuras.
- j) Corrosión-erosión: causada por un tipo de corrosión y abrasión (causados generalmente por líquidos y gases).
- k) Corrosión atmosférica: producida por una acción agresiva por el ambiente sobre los metales (efecto simultáneo del aire y el agua).
- l) Corrosión galvánica: ocurre cuando metales diferentes entran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con más activo será el ánodo (efectos superficie).

Gráfico 21: tipos de corrosión



Fuente: Internet

#### 2.2.7.5.4. Factores que causan la corrosión de la armadura

##### ➤ *Penetración de Cloruros*

Los cloruros pueden proceder desde el interior del concreto, porque se agregan con sus componentes (agregados, aditivos, etc.) durante la mezcla, a esto se le puede llamar un concreto contaminada. Como segundo caso se da porque los cloruros penetran desde el exterior por medio de los poros de la estructura. Esta situación es la que se da en las estructuras expuestas a un ambiente marino.

El pH fuertemente básico del concreto (aproximadamente 12.5) conduce a la formación de un “film protector” sobre las armaduras y, en estas condiciones, se dice que el acero está “pasivado”; esto es, aun en presencia de oxígeno y humedad, no se oxida. Los iones cloruro son capaces de romper este film pasivante y dejar al acero sin protección, dado que forman un compuesto soluble, el cloruro ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ) con los óxidos de hierro que constituyen el film. Una vez que se ha perdido la pasivación, el acero es susceptible de corroerse si están presentes todos los elementos necesarios: oxígeno, humedad y un medio (el concreto) de baja resistividad eléctrica.

➤ ***La Carbonatación del Concreto***

Aunque la carbonatación es una causa de la corrosión menos importante que los cloruros, no por ello es menos seria en términos del daño que provoca y del dinero que cuesta reparar sus efectos.

La carbonatación en el concreto es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral.

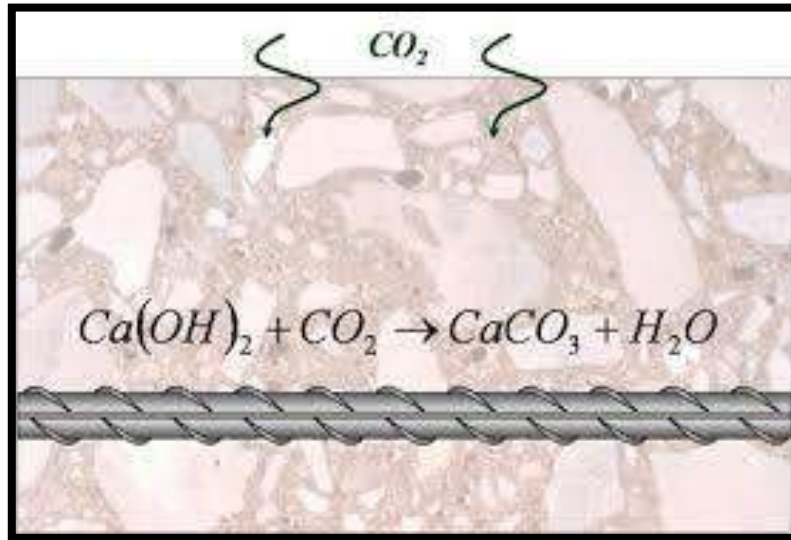
Sánchez de Rojas (2004) <sup>(26)</sup> dice que el aumento de la relación agua/cemento favorece el proceso de carbonatación, al proporcionar concretos más permeables. Con respecto a la humedad, en concretos secos o completamente saturados no es posible que se produzca carbonatación, produciéndose la penetración máxima de CO<sub>2</sub> en el concreto a humedades comprendidas entre el 50% y el 70%.

Factores que afectan la carbonatación:

- Contenido de CO<sub>2</sub> en la atmosfera
- Humedad relativa y contenido de humedad del concreto
- Contenido y tipo de cemento
- Permeabilidad del concreto
- Relación agua/cemento
- Colocación y consolidación del concreto
- Curado.



**Gráfico 22:** Proceso químico de la Carbonatación



Fuente: internet

➤ ***Combinación de Carbonatación más Cloruros***

Nuevamente Sánchez de Rojas señala que, si la carbonatación tiene lugar en un concreto que contiene cloruros, los efectos de ambos agresivos se suman dando lugar a una fuerte corrosión. Además, por efecto de la acción del CO<sub>2</sub> sobre las fases sólidas del cemento, los cloro-aluminatos se pueden disgregar y dejar libres a los cloruros que mantenían combinados.

La velocidad del proceso depende a su vez de la facilidad con que el CO<sub>2</sub> penetre en el interior de los poros del concreto. En el proceso de difusión la humedad relativa del aire de los poros juega un papel decisivo. El coeficiente de difusión del es 10.000 veces superior en el aire que, en el agua, por tanto, si los poros están saturados de agua la penetración del gas es muy débil y las reacciones inexistentes. Pero en el hormigón muy seco, la cantidad de agua es insuficiente para disolver el y la carbonatación resulta muy moderada, dado que la reacción se efectúa a partir del y la cal disueltos en el agua.

En definitiva, la carbonatación no afecta al hormigón más que si las moléculas de agua tapizan la superficie de los poros sin obstruirlos. Este estado se da con máxima eficacia cuando la humedad relativa del aire de los poros es, aproximadamente del 60%.

## 2.2.8. PATOLOGIAS MÁS HABITUALES EN UN MUELLE MARITIMO

En este punto de la investigación se quiere explicar de una forma simplificada los daños más comunes que se presentan en los elementos estructurales de un muelle marítimo. Los muelles marítimos tendrán patologías similares a las demás estructuras ya que usan el concreto armado como base para su construcción, la diferencia radica en que un muelle marítimo está expuesto a un ambiente altamente agresivo como es el mar.

Se mencionarán los diferentes tipos de deterioros que se pueden encontrar en los diferentes elementos estructurales y la calificación del grado de daño asociada.

### 2.2.8.1. Impactos

**Tabla 3:** Grado de daño por impactos

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observa daños por impacto
2	Se observa daños leves por impacto (Fisuras)
3	Se observa daños considerable por impacto (Agrietamientos)
4	Se observa daños severos por impacto (Cavidades)
5	Se observa daños muy severos por impacto (Fracturas con exposición de estructura de acero)

**Fuente:** Propia

### 2.2.8.2. Decoloración y Manchado

**Tabla 4:** Grado de daño por decoloración y manchado

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observa ninguna decoloración y/o manchado
2	Se observa una leve decoloración y/o manchado
3	25% de la estructura está decolorada y/o manchada
4	50% de la estructura está decolorada y/o manchada
5	No se observa el color original

**Fuente:** Propia

### 2.2.8.3. Desagregación

**Tabla 5:** Grado de daño por desagregación

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No hay daños por desagregación
2	Se observa un daño leve por desagregación (pulverización leve)
3	Se observa un daño considerable por desagregación (pulverización y exposición de material)
4	Hay un daño severo por desagregación (pulverización e inexistencia de partículas)
5	Se observa daño total del elemento por desagregación total con exposición de estructura metálica

**Fuente:** Propia

### 2.2.8.4. Descascaramiento

**Tabla 6:** Grado de daño por descascaramiento en superficie del concreto

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observan descascaramiento en la superficie
2	Se observa el principio del descascaramiento
3	Ha crecido el descascaramiento en algunas partes de la superficie de la estructura
4	Se observa un considerable descascaramiento
5	Se observa un considerable descascaramiento y oxidación

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes <sup>(27)</sup>

### 2.2.8.5. Eflorescencia

**Tabla 7:** Grado de daño por eflorescencia

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observa eflorescencia
2	Se observaron pequeñas manchas blancas en la superficie del concreto
3	Se observó eflorescencia a lo largo de la grieta en menos de la mitad del área de losa
4	Se observó eflorescencia en más de la mitad del área de losa
5	Se observaron estalactitas en muchos lugares causadas por cloruros de calcio

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### 2.2.8.6. Erosión

**Tabla 8:** Grado de daño por erosión

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	Hay ausencia de daño por erosión
2	Se observa daño leve por erosión mínima aparición de los agregados finos
3	Se observa daño moderado por erosión mayor pronunciamiento del agregado
4	Se observa daño considerable por erosión cantidad suelta de agregados
5	La totalidad de la superficie de la estructura esta fallada por erosión

**Fuente:** Propia

### 2.2.8.7. Grietas

**Tabla 9:** Grado de daño por grietas en dos direcciones del concreto

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observan grietas
2	El espesor de la grieta es menor a 5.0 mm
3	El espesor de la grieta esta entre 5.0 y 10.0 mm
4	Se observan grietas en red
5	Se observan grietas en red y en algunas partes hay desprendimiento del concreto

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### 2.2.8.8. Agentes Biológicos

**Tabla 10:** Grado de daño por agentes biológicos

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No existe daño por agentes biológicos
2	Se observa daño leve por agentes biológicos
3	Se observa daño moderado originado por agentes biológicos
4	Se observa daño severo originado por agentes biológicos
5	La totalidad de la estructura está dañada por agentes biológicos

**Fuente:** Propia

### 2.2.8.9. Deformación

**Tabla 11:** Grado de daño por deformación

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observan daños de deformación en el elemento
2	Deformación menor a 5.0 cm
3	Deformación entre 5.0 y 10.0 cm con respecto al original
4	Deformación entre 10.0 y 20.0 cm con respecto al original
5	Deformación mayor a 20cm con respecto al original

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### 2.2.8.10. Faltante

**Tabla 12:** Grado de daño por faltante

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	Se cuenta con la totalidad del elemento
2	Algunas partes del elemento están dañadas
3	Hace falta menos del 5% del elemento
4	Hace falta entre el 5% y el 15% del elemento
5	Hace falta más del 15% del elemento

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### 2.2.8.11. Oxidación

**Tabla 13:** Grado de daño por oxidación

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observa oxidación en el elemento
2	Se observa comienzos de oxidación
3	20% del elemento está cubierto con oxidación
4	50% del elemento está cubierto con oxidación
5	Más del 50% de la superficie del elemento está cubierto con oxidación

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### 2.2.8.12. Exposición del Acero de Refuerzo

**Tabla 14:** Grado de daño por acero de refuerzo expuesto

Grado de Daño	Descripción
1	Descascaramiento en la superficie del concreto
2	Se observa cascaras a lo largo del refuerzo <div data-bbox="751 544 1093 734" style="text-align: center;"> <p>Refuerzo Principal</p> </div>
3	El refuerzo está expuesto en pequeñas partes <div data-bbox="751 860 1093 1050" style="text-align: center;"> </div>
4	Se observa el refuerzo expuesto y oxidado <div data-bbox="759 1193 1088 1373" style="text-align: center;"> </div>
5	Se observa el acero principal expuesto y con reducción de sección <div data-bbox="759 1518 1088 1697" style="text-align: center;"> </div> <p>*Δl: Recubrimiento del concreto</p>

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### 2.2.8.13. Corrosión

**Tabla 15:** Grado de daño por corrosión

<b>Grado de Daño</b>	<b>Descripción</b>
1	No se observa corrosión en el elemento
2	Se observa el principio de la corrosión
3	La corrosión creció y ha ocasionado orificios en partes del elemento
4	Algunas partes del elemento están reducidas por corrosión
5	Algunas partes del elemento se han perdido por la corrosión

**Fuente:** Manual de Inspección de Puentes

### **III. METODOLOGÍA**

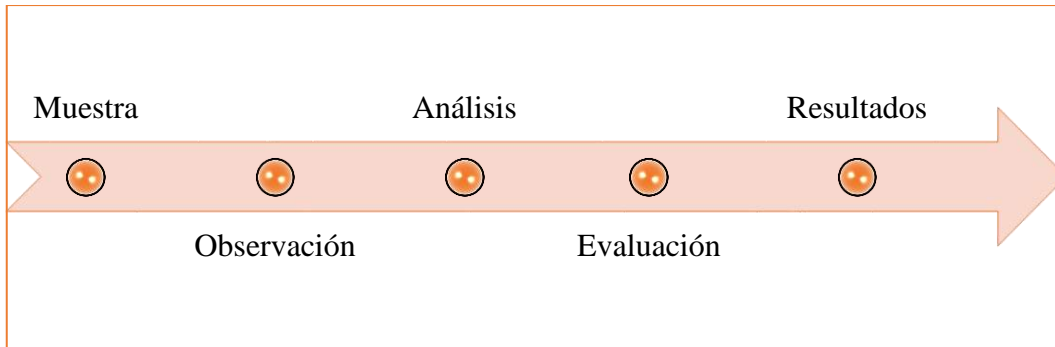
#### **3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación es, descriptiva, explicativa, no experimental y de corte transversal.

- Es descriptivo porque vamos a identificar y analizar las patologías encontradas a partir de sus características. Sin alterar el fenómeno en estudio.
- Explicativo porque se pretende buscar el “por qué” de los hechos patológicos mediante la relación causa-efecto.
- No experimental porque se realiza sin manipular deliberadamente los fenómenos en estudio, lo que se hace es observar el fenómeno tal como se da en su contexto natural para luego ser analizado. No usamos laboratorio.
- Es una investigación Transversal ya que se analizará el fenómeno en un determinado tiempo, septiembre 2015.
- Es correccional porque existe una relación dependiente del tipo de patologías con la estructura del muelle de concreto; así como el nivel de vulnerabilidad del mismo.
- La evaluación realizada fue de tipo visual y personalizada.
- el procesamiento de datos se realizó mediante hojas de cálculo.
- Para la determinación de las muestras se tomó todas las estructuras que conforman el muelle de Yacila, tomando las medidas respectivas y las fotos correspondientes donde se demuestra el estado real de los elementos estructurales del muelle en mención.



El diseño se grafica de la siguiente manera:



### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.2.1. Universo o Población

Esta dada por la delimitación geográfica del muelle de Yacila, provincia de Paita departamento de Piura.

#### 3.2.2. Muestra

La muestra son las estructuras que conforman el muelle de Yacila (columnas, vigas y losa)

### 3.3. DEFINICION Y OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES E INDICADORES

**Cuadro 1:** Definición y Operacionalización de las Variables e Indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Inspección y evaluación de las patologías de los elementos estructurales de concreto en el muelle de Yacila – Paita	Establecimiento de patologías que presentan los elementos estructurales del muelle de Yacila.	Tipos de patologías que se presentan en los elementos estructurales de concreto armado del muelle de Yacila, como: - Fisuras - Desprendimiento del concreto	Variabilidad en	Tipo, forma de daño
			Grado de afectación	Clase de daño, nivel de severidad  Excelente Bueno Regular Malo Fallado

Fuente: Propia

### **3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se utilizará la evaluación visual, la cual será determinante para empezar la toma de datos. Además, la toma de datos se utilizará como instrumento de recolección de información de la muestra, según el análisis de muestreo, para lo cual es fundamental contar con los instrumentos necesarios, tales como:

Para la recolección de datos se usarán libreta de apuntes o tablas de ingreso de datos, software (Word, Excel, etc.). Todo esto será necesario para mantener un orden adecuado en el proceso de investigación y posterior evaluación.

Entre los equipos auxiliares usaremos, regla, equipo de medición manual (wincha), para realizar mediciones en áreas afectadas de los elementos estructurales de concreto, pilotes, vigas, losas, etc. Para poder así garantizar una evaluación detallada de las patologías que se presentan en las diferentes zonas identificadas. Cámara fotográfica, la que nos permitirá detallar las zonas afectadas de la estructura en estudio.

Embarcación pequeña (lancha), la que nos permitirá movilizarnos por debajo de la estructura para poder obtener datos más completos de los daños que presentan la estructura.

### **3.5. PLAN DE ANALISIS**

Los resultados estarán comprendidos en lo siguiente:

- Ubicación del área de estudio.
- Definir patologías
- Tipo de patologías existentes
- Cuadros del ámbito de la investigación
- Proceso de datos
- Cuadros estadísticos de las patologías existentes

### 3.6. MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Cuadro 2: Matriz de Consistencia**

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MARCO TEORICO	METODOLOGIA
“Inspección y Evaluación de las Patologías en las Estructuras de Concreto Armado del Muelle de Yacila – Paita - Piura, Septiembre 2015”	<p><b>Enunciado del Problema:</b></p> <p>¿Mediante una exhaustiva evaluación y un correcto diagnóstico podremos obtener un índice de integridad estructural del muelle de Yacila – Paita, Piura?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Evaluar los elementos estructurales de concreto armado existentes, para determinar la condición de los mismos.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Investigar las patologías que pueden afectar a muelles de concreto armado, con el fin de proporcionar los conocimientos necesarios para realizar análisis y diagnósticos eficaces.</p> <p>Clasificar los tipos de patologías encontrados y analizar las posibles causas que generan un tipo de patología en particular.</p>	<p>Con la evaluación y el diagnóstico, obtendremos el grado de afectación que ocasionan las patologías en los elementos estructurales, para establecer el nivel de vulnerabilidad del muelle Yacila</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Evaluar y diagnosticar la condición de las estructuras del muelle y tomar en cuenta para mejorar la infraestructura.</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, descascaramiento.</p> <p>Textura: Eflorescencia, incrustación, lavado de finos.</p>	<p><b>Antecedentes:</b></p> <p>Se consultó diferentes investigaciones, tanto en el ámbito internacional como nacional, además de artículos relacionados al tema.</p> <p><b>Bases Teóricas</b></p> <p>Patologías: ciencia que está encargada del estudio de lesiones en su más amplio sentido, es decir, como procesos o estados anormales debido a causas conocidas o desconocidas.</p> <p><b>Patología del Concreto</b></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><b>Tipo y Nivel de la investigación</b></p> <p>Es una investigación de tipo descriptivo, explicativo y de corte transversal.</p> <p><b>Diseño de la Investigación.</b></p> <p>Es una investigación no experimental</p>

Fuente: Propia

### **3.7. PRINCIPIOS ÉTICOS**

La recolección de información que se realizara en campo, debe ser reales. Se consultará y tomará 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

#### *APLICACIÓN DE INSPECCION VISUAL DEL MUELLE YACILA*

##### *DATOS PRELIMINARES*

###### **Antecedentes:**

El Desembarcadero Artesanal Pesquero (DPA) Yacila, se encuentra ubicado en la caleta Yacila, Provincia de Paita, Departamento de Piura. Este muelle tiene una antigüedad de 18 años.

Los servicios que presta el DPA son servicio de atraque y uso de muelle a las embarcaciones pesqueras que descargan recursos hidrobiológicos.

###### **Descripción del Muelle:**

Es un muelle sobre pilotes, de estructuras de concreto armado prefabricados. Compuesto por un cabezo de 49.50 m de largo y 8.00 m de ancho, su sistema de defensa es de enllantado con cadena, una plataforma baja de 10.00 m de largo y 4.00 m de ancho, con sistema de defensa de enllantado con cadena y un puente de acceso de 69.00 m de largo y 4.00 m de ancho.

##### *RECONOCIMIENTO VISUAL DEL MUELLE*

###### **Agrupación en Zonas:**

Numero de zonas, tenemos 3. Cada parte del muelle se nombrará por zonas:

- Puente: zona 1
- Cabezo: zona 2
- Plataforma: zona 3

**Cantidades de Elementos Estructurales por Zona:**

**Cuadro 3:** número de elementos estructurales por zona

<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>ZONA 1</b>	<b>ZONA 2</b>	<b>ZONA 3</b>
Pilotes (und)	54	66	8
Vigas Transversales	15	11	4
Losas	25	30	6

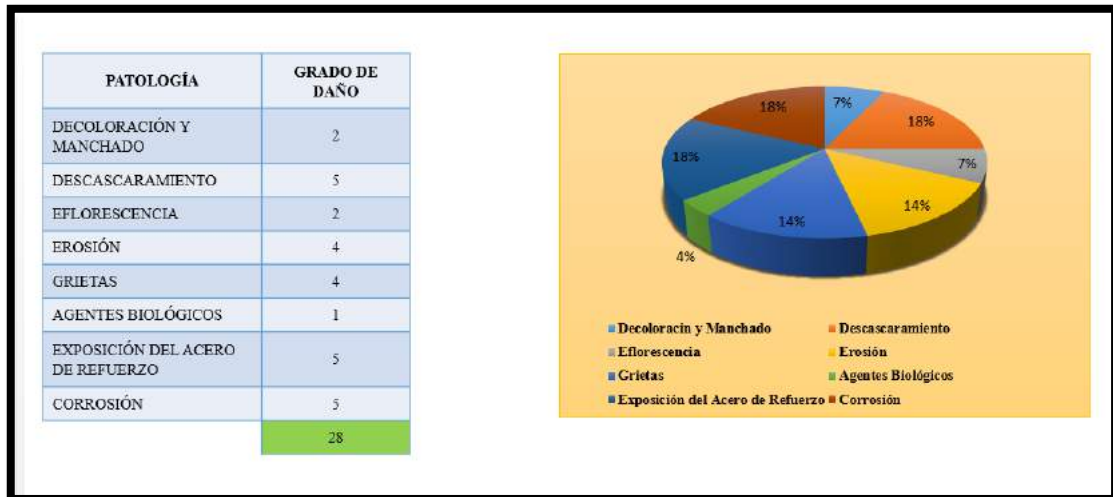
**Fuente:** Propia

Del total de elementos estructurales que conforman el muelle, solo se evaluó a los que se pudo acceder.

## ZONA 1 – PUENTE

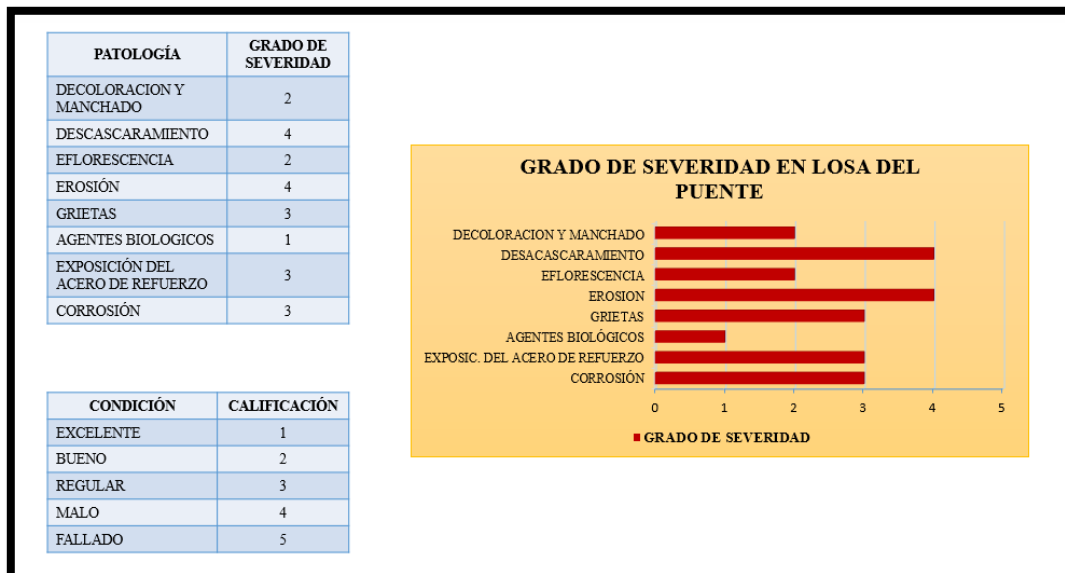
### Losa Nervada

**Gráfico 23:** Patologías en la losa nervada del puente



Fuente: Propia

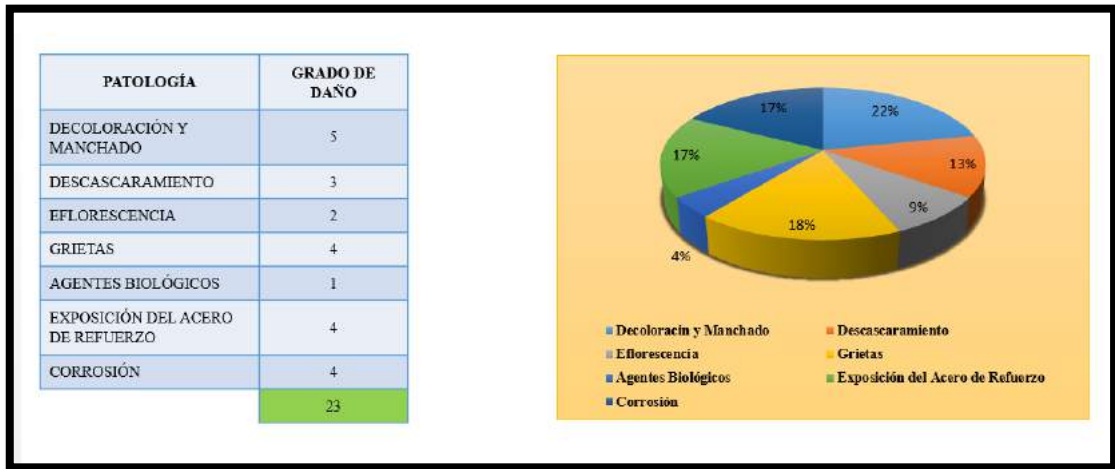
**Gráfico 24:** grado de afectación en losa nervada del puente



Fuente: Propia

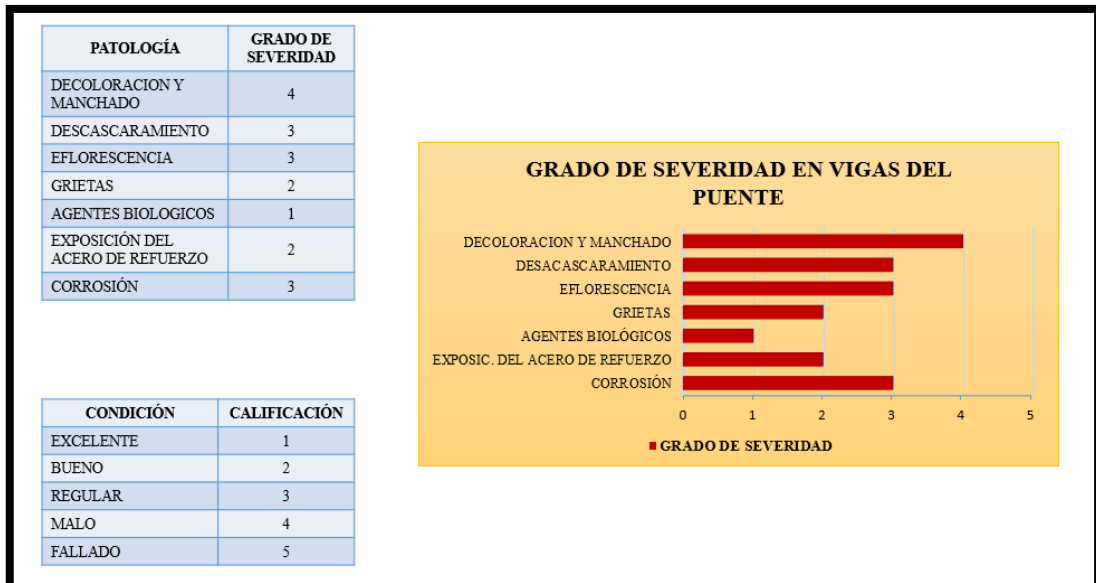
## Vigas Transversales

**Gráfico 25:** Patologías en vigas transversales del puente



Fuente: Propia

**Gráfico 26:** grado de severidad en vigas transversales del puente

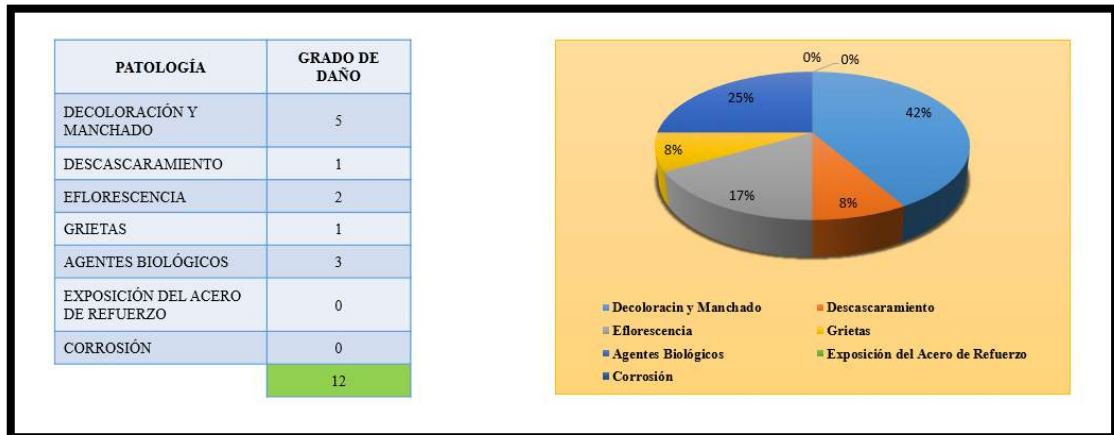


Fuente: Propia



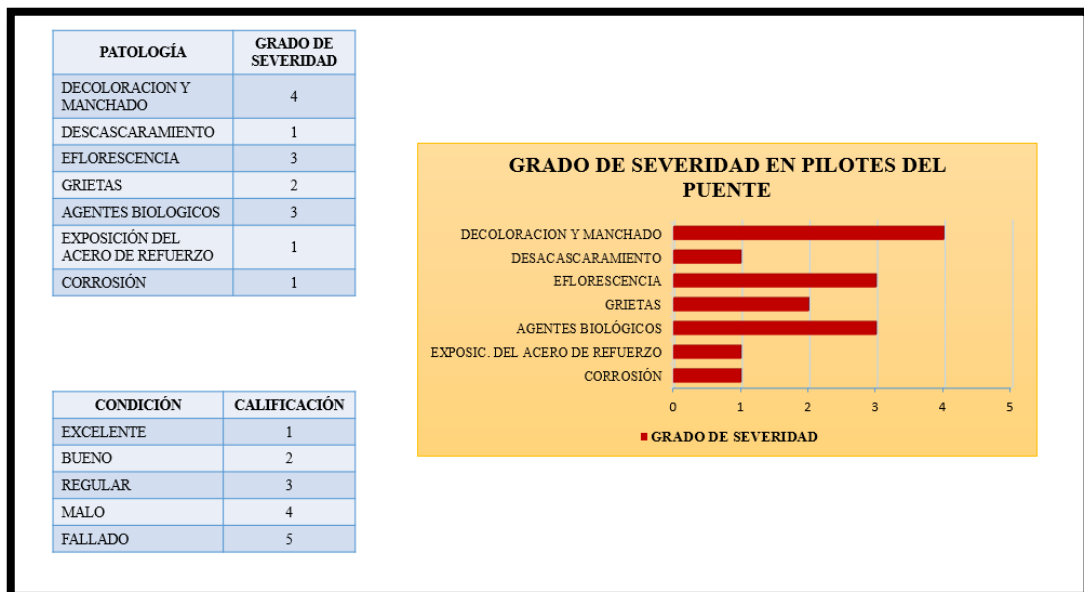
## Pilotes

**Gráfico 27:** Patologías en pilotes del puente



Fuente: Propia

**Gráfico 28:** grado de severidad en pilotes del puente



Fuente: Propia

### **Interpretación de resultados zona 1 - Puente**

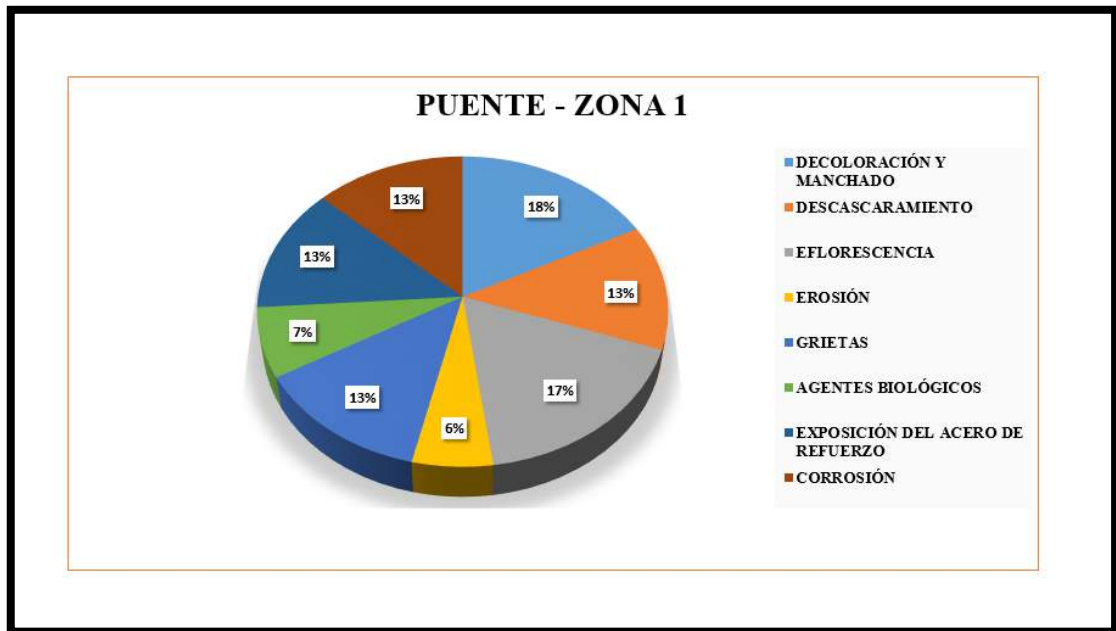
Luego de obtenidos los resultados enmarcándose todo esto en la utilización de los diferentes rangos de evaluación de las diferentes manifestaciones del impacto ocasionado por las patologías existentes, se aprecia una mayor incidencia de los agentes patológicos por decoloración y manchado (18%), seguido esto en menor impacto por la eflorescencia generalizado en la estructura (17%), pasando asimismo por un descascaramiento, agrietamiento, exposición del acero de refuerzo corrosión (13%), y finalmente se aprecia en menor rango manifestación de los otros agentes patológicos encontrados.

Por consiguiente, se han obtenido los resultados que permiten cuantificar las patologías encontradas en dicha estructura según el análisis de datos tenemos:

- Un 18% afectado por decoloración y manchado.
- Un 17% afectado por eflorescencia.
- Un 13% afectado por descascaramiento.
- Un 13% afectado por agrietamiento.
- Un 13% afectado por exposición del acero de refuerzo.
- Un 13% afectado por corrosión.
- Un 7% afectado por agentes biológicos.
- Un 6% afectado por erosión.

Se puede concluir que el grado de afectación de la zona 1 es regular.

**Gráfico 29:** Patologías en vigas transversales del puente

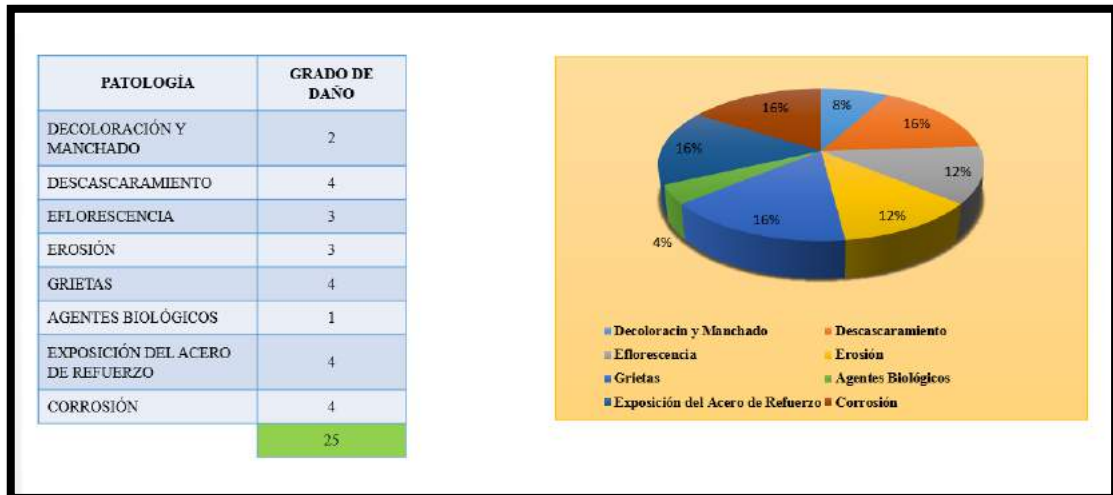


**Fuente:** Propia

## ZONA 2 – CABEZO

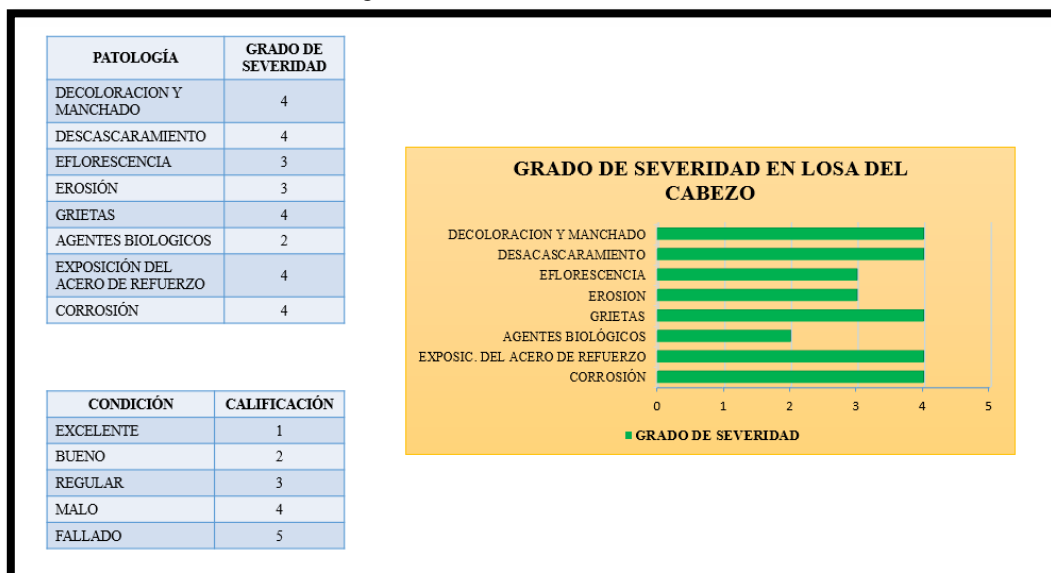
### Losa Nervada

**Gráfico 30:** Patologías en la losa nervada del cabezo



Fuente: Propia

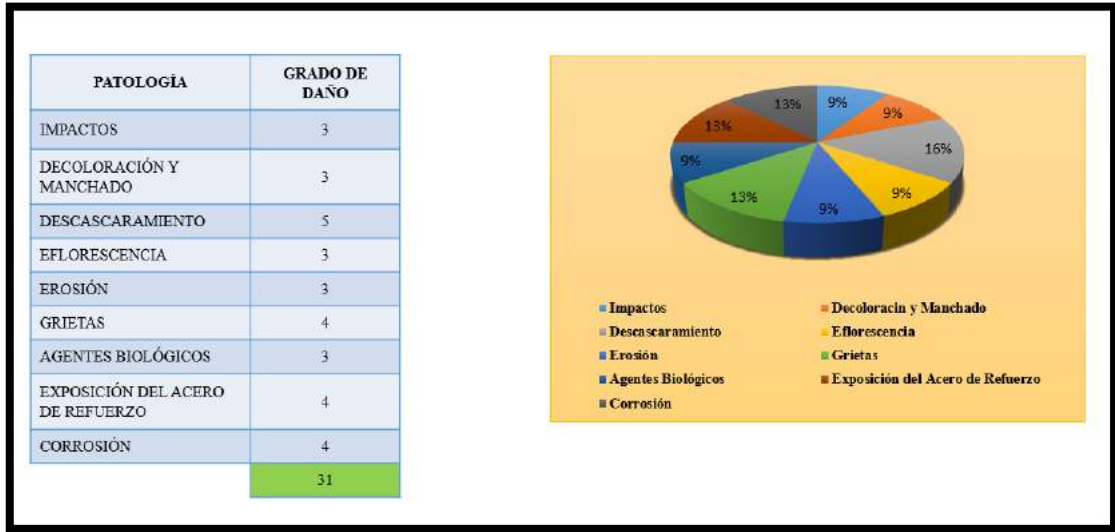
**Gráfico 31:** grado de severidad en losa nervada del cabezo



Fuente: Propia

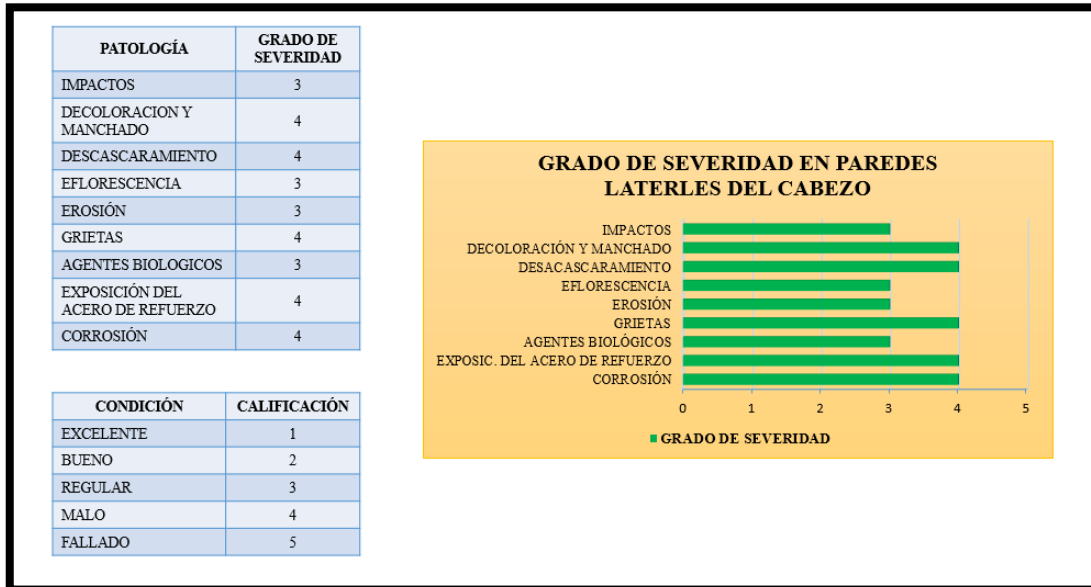
## Paredes Laterales

**Gráfico 32:** Patologías en paredes laterales del cabezo



Fuente: Propia

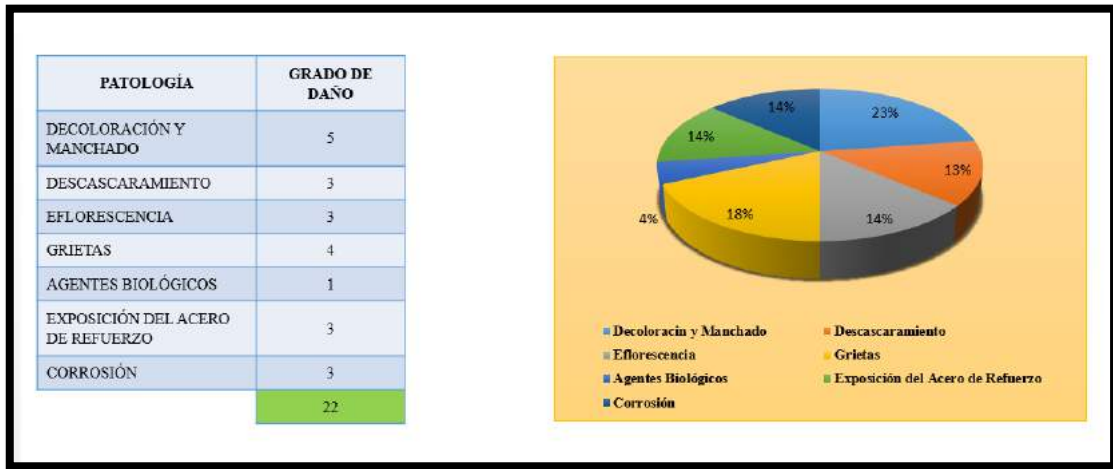
**Gráfico 33:** grado de severidad en paredes laterales del cabezo



Fuente: Propia

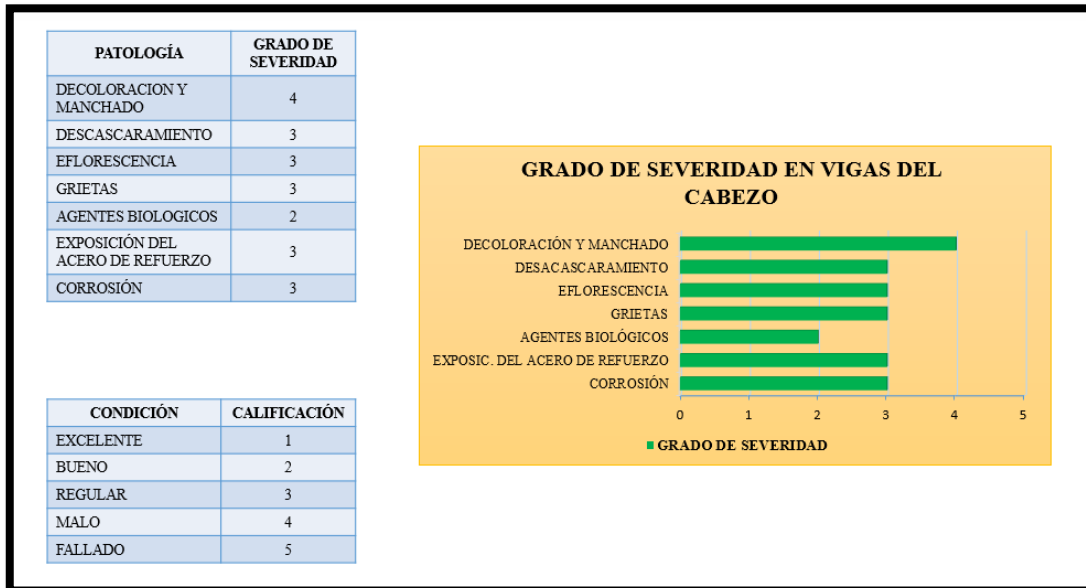
## Vigas Transversales

**Gráfico 34:** Patologías en vigas transversales del cabezo



Fuente: Propia

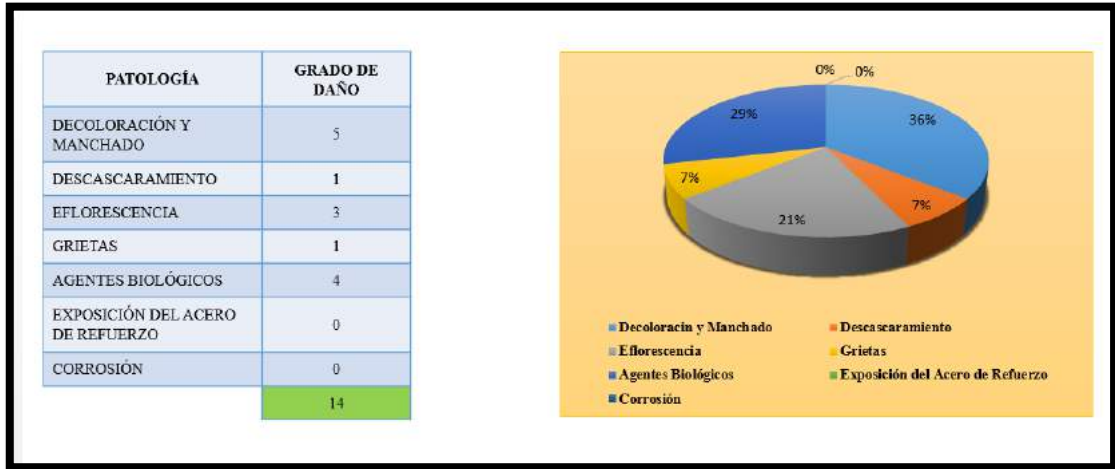
**Gráfico 35:** grado de severidad en vigas transversales del cabezo



Fuente: Propia

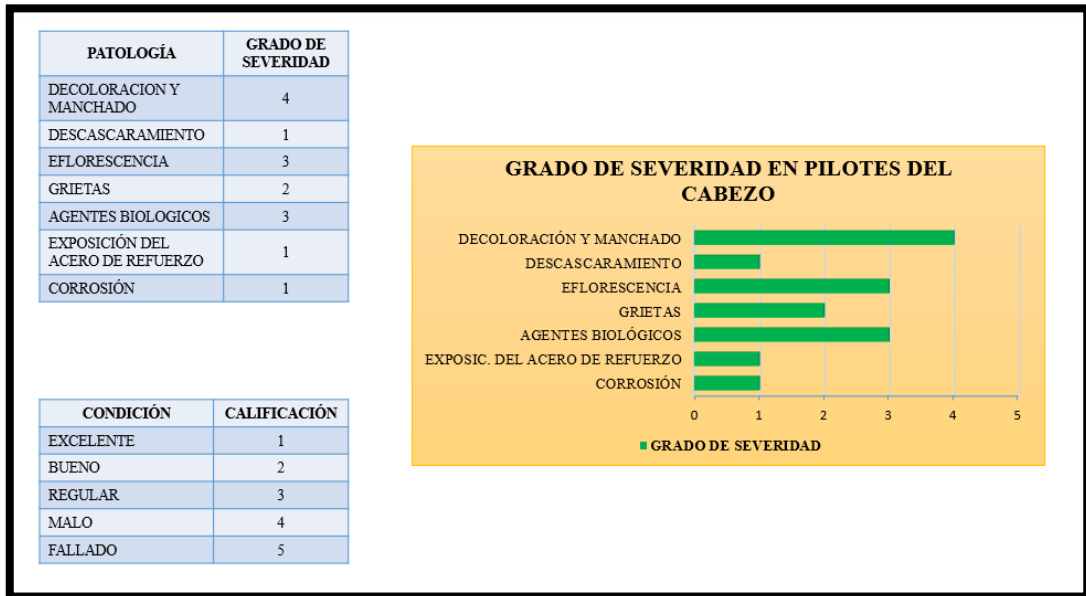
## Pilotes

**Gráfico 36:** Patologías en pilotes del cabezo



Fuente: Propia

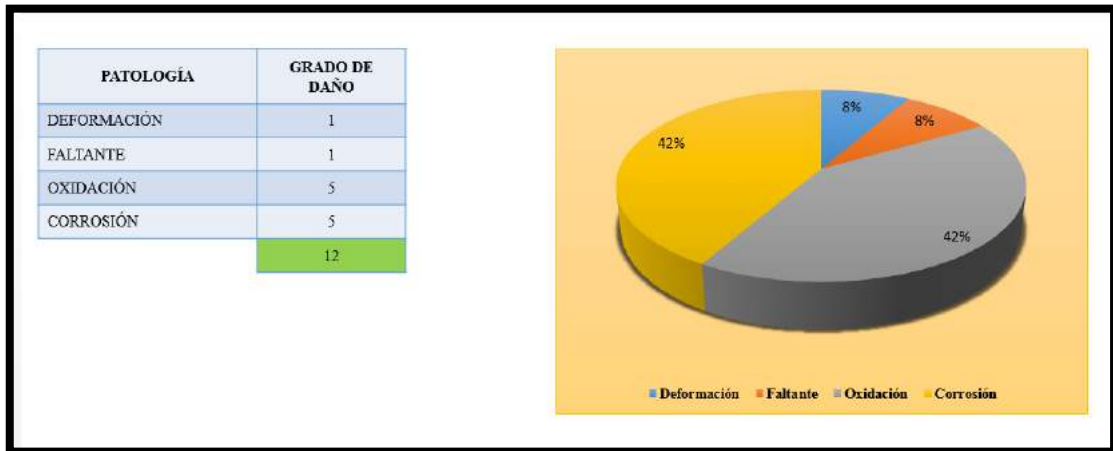
**Gráfico 37:** grado de severidad en pilotes del cabezo



Fuente: Propia

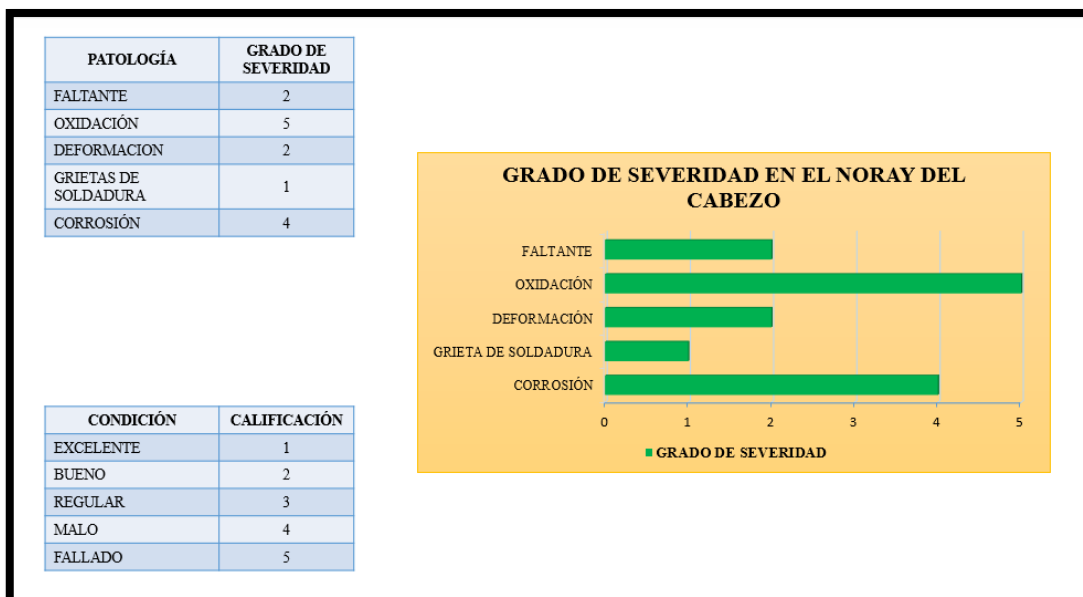
## Noray

**Gráfico 38:** Patologías en el noray del cabezo



Fuente: Propia

**Gráfico 39:** grado de severidad en el noray del cabezo



Fuente: Propia



## **Interpretación de resultados zona 2 - Cabezo**

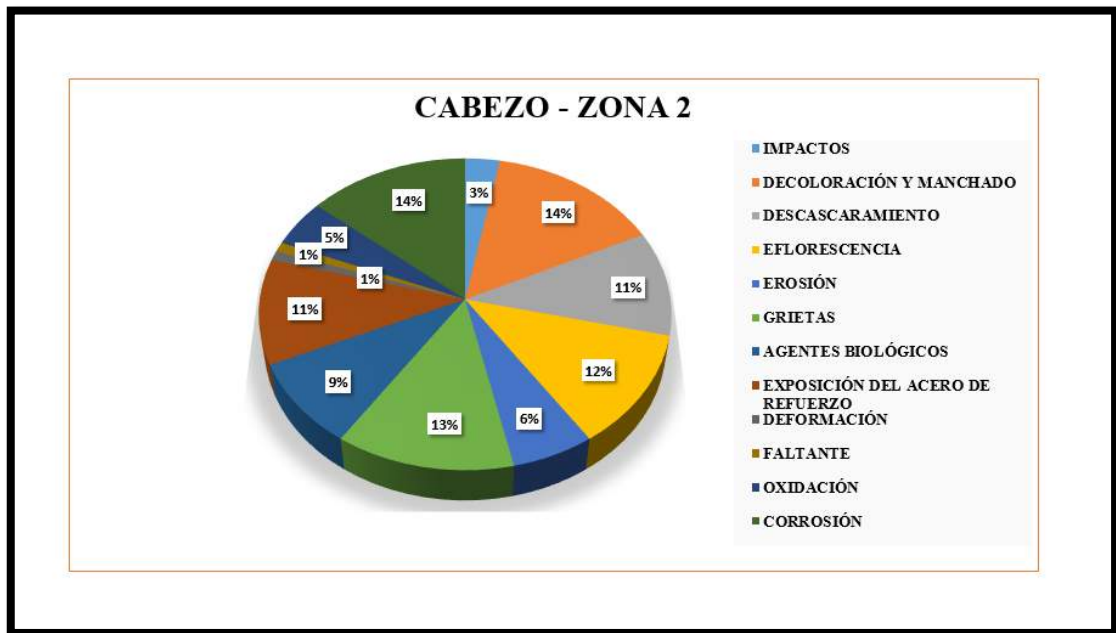
Luego de obtenidos los resultados enmarcándose todo esto en la utilización de los diferentes rangos de evaluación de las diferentes manifestaciones del impacto ocasionado por las patologías existentes, se aprecia una mayor incidencia de los agentes patológicos corrosivos y decoloración (14%), seguido esto en menor impacto por el agrietamiento generalizado en la estructura (13%), pasando asimismo por una afectación de eflorescencia (12%), y finalmente se aprecia en menor rango manifestación de los otros agentes patológicos encontrados.

Por consiguiente, se han obtenido los resultados que permiten cuantificar las patologías encontradas en dicha estructura según el análisis de datos tenemos:

- Un 14% afectado por decoloración y manchado.
- Un 14% afectado por agentes corrosivos.
- Un 13% afectado por agrietamientos.
- Un 12% afectado por Eflorescencia.
- Un 11% afectado por un descascaramiento.
- Un 11% afectado por exposición del acero de refuerzo.
- Un 9% afectado por agentes biológicos.
- Un 6% afectado por la erosión.
- Un 5% afectado por oxidación.
- Un 3% afectado por impactos.
- Un 1% afectado por deformación.
- Un 1% afectado por faltante.

Se puede concluir que el grado de afectación para la zona 2 es malo.

**Gráfico 40:** Patologías en vigas transversales del puente

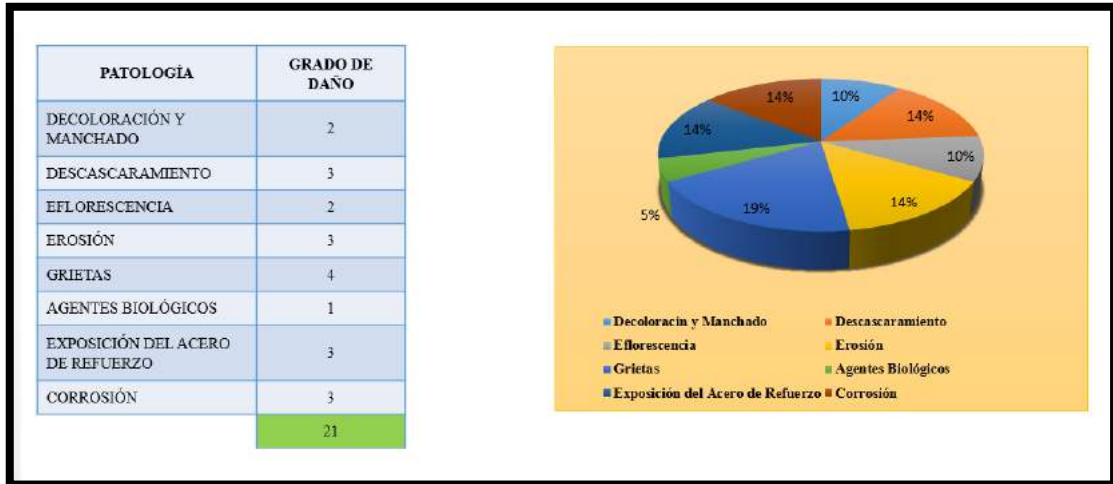


Fuente: Propia

## ZONA 3 – PATAFORMA BAJA

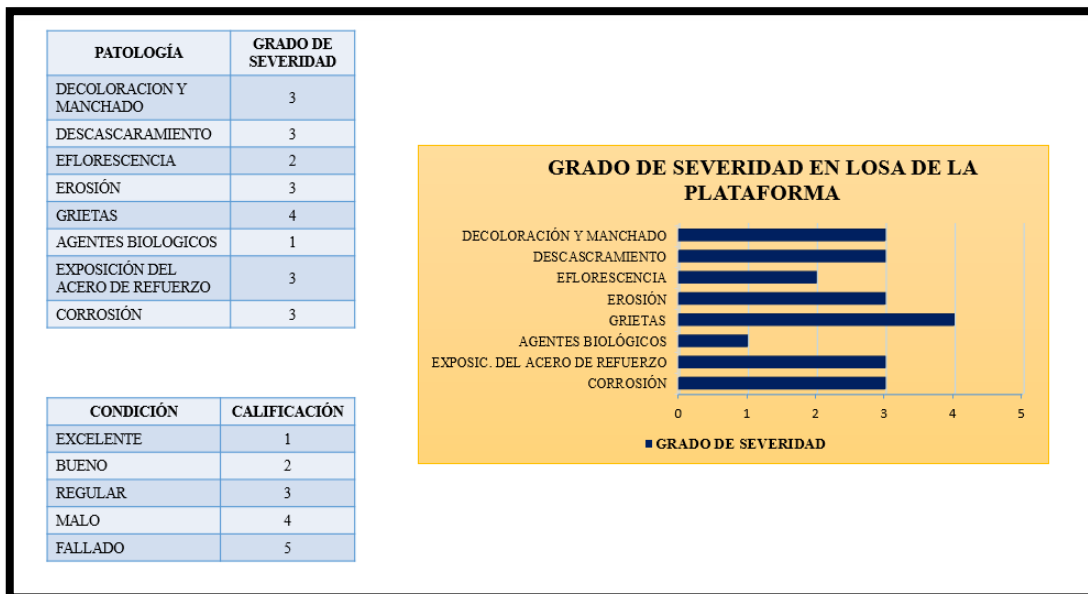
### Losa Nervada

**Gráfico 41:** Patologías en la losa nervada de la plataforma



Fuente: Propia

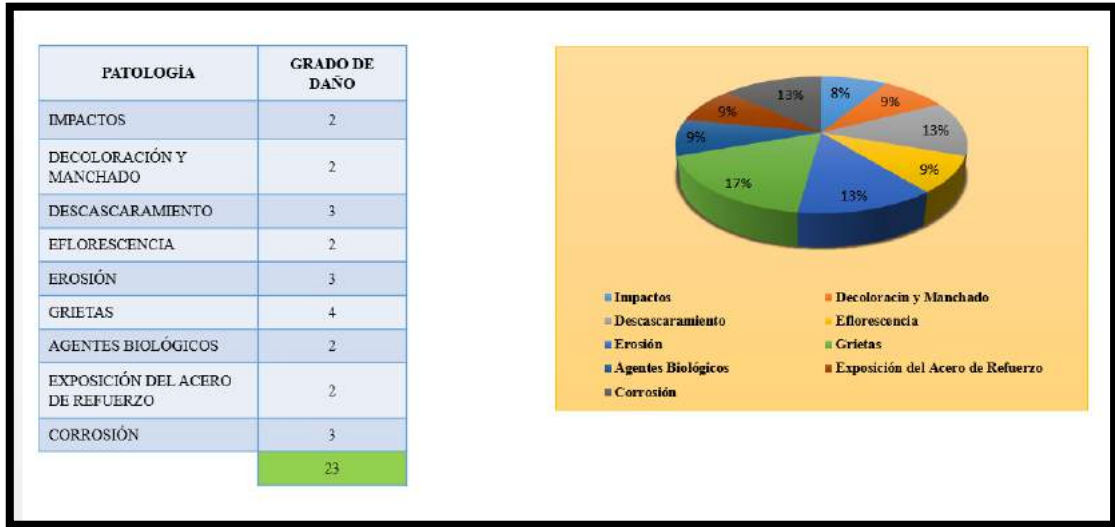
**Gráfico 42:** grado de severidad en losa nervada de la plataforma



Fuente: Propia

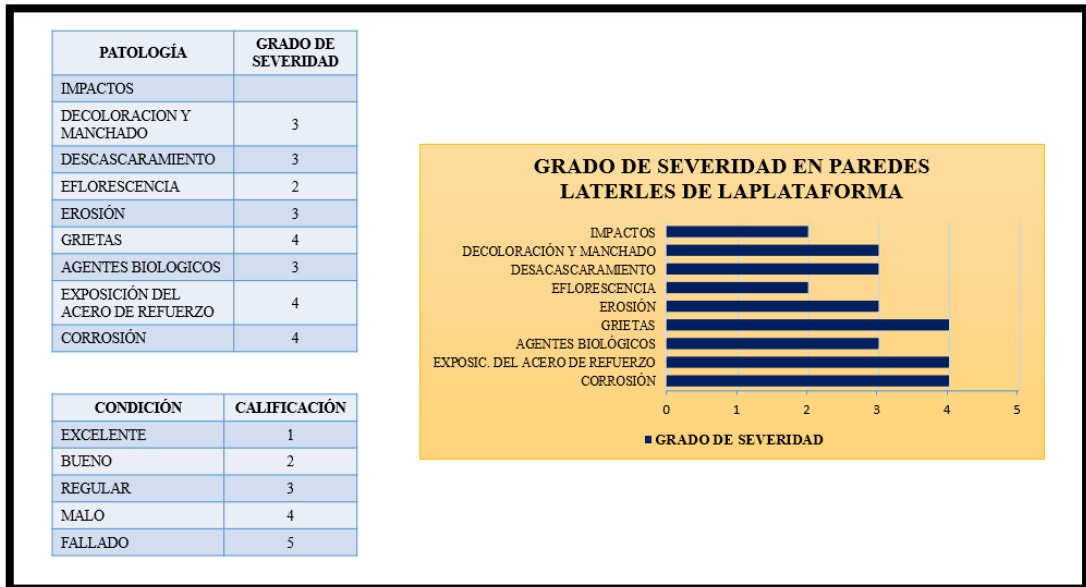
## Paredes Laterales

**Gráfico 43:** Patologías en paredes laterales de la plataforma



Fuente: Propia

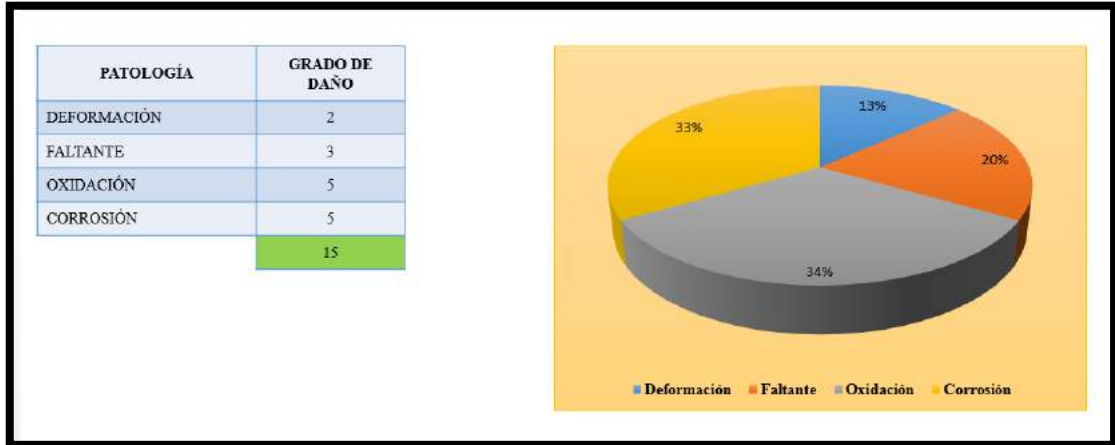
**Gráfico 44:** grado de severidad en paredes laterales de la plataforma



Fuente: Propia

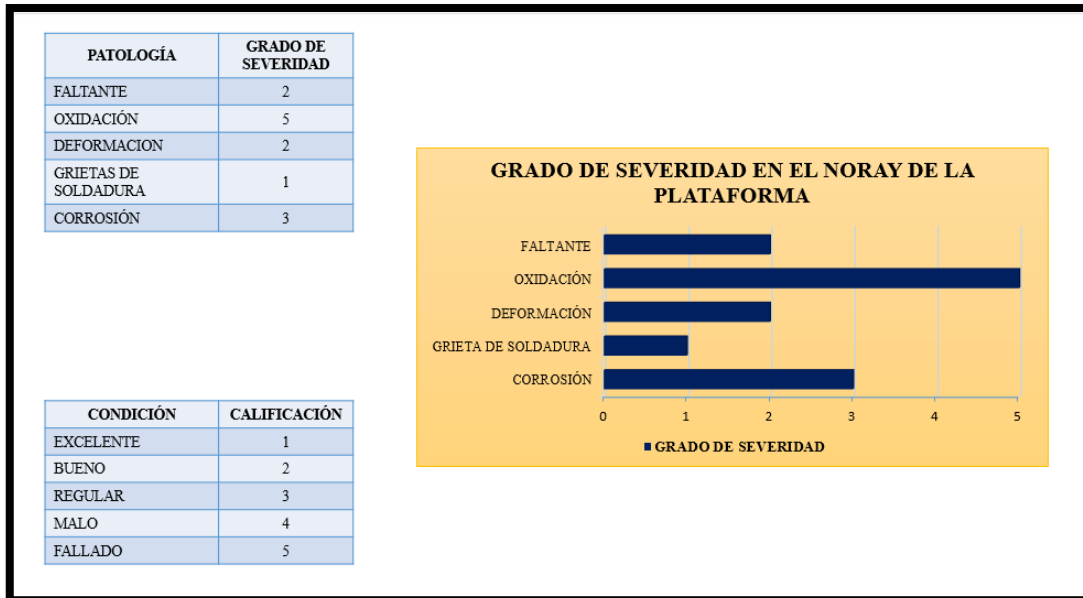
## Noray

**Gráfico 45:** Patologías en el noray de la plataforma



Fuente: Propia

**Gráfico 46:** grado de severidad en el noray de la plataforma



Fuente: Propia

### **Interpretación de resultados zona 3 - Plataforma**

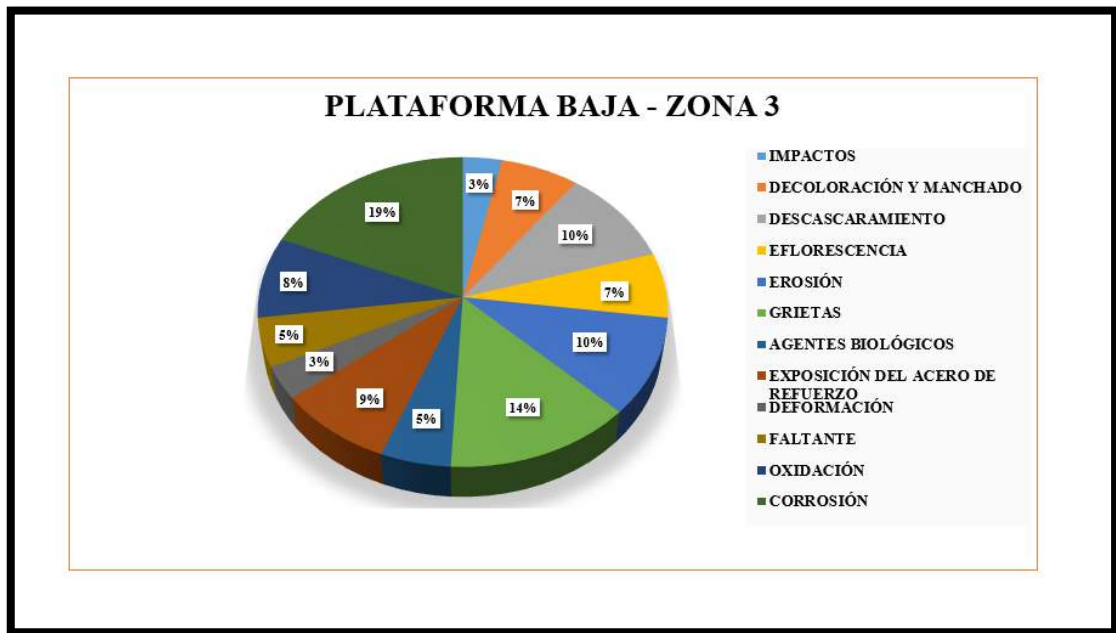
Luego de obtenidos los resultados enmarcándose todo esto en la utilización de los diferentes rangos de evaluación de las diferentes manifestaciones del impacto ocasionado por las patologías existentes, se aprecia una mayor incidencia de los agentes patológicos corrosivos (19%), seguido esto en menor impacto por el agrietamiento generalizado en la estructura (14%), pasando asimismo por una afectación de descascaramiento y erosión (10%), y finalmente se aprecia en menor rango manifestación de los otros agentes patológicos encontrados.

Por consiguiente, se han obtenido los resultados que permiten cuantificar las patologías encontradas en dicha estructura según el análisis de datos tenemos:

- Un 19% afectado por agentes corrosivos.
- Un 14% afectado por agrietamientos.
- Un 10% afectado por un descascaramiento.
- Un 10% afectado por la erosión.
- Un 9% afectado por exposición del acero de refuerzo.
- Un 8% afectado por oxidación.
- Un 7% afectado por decoloración y manchado.
- Un 7% afectado por Eflorescencia.
- Un 5% afectado por agentes biológicos.
- Un 5% afectado por faltante.
- Un 3% afectado por impactos.
- Un 3% afectado por deformación.

Se puede concluir que el grado de afectación de la zona 3 es malo.

**Gráfico 47:** Patologías en vigas transversales del puente



Fuente: Propia

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### ZONA 1 – PUENTE

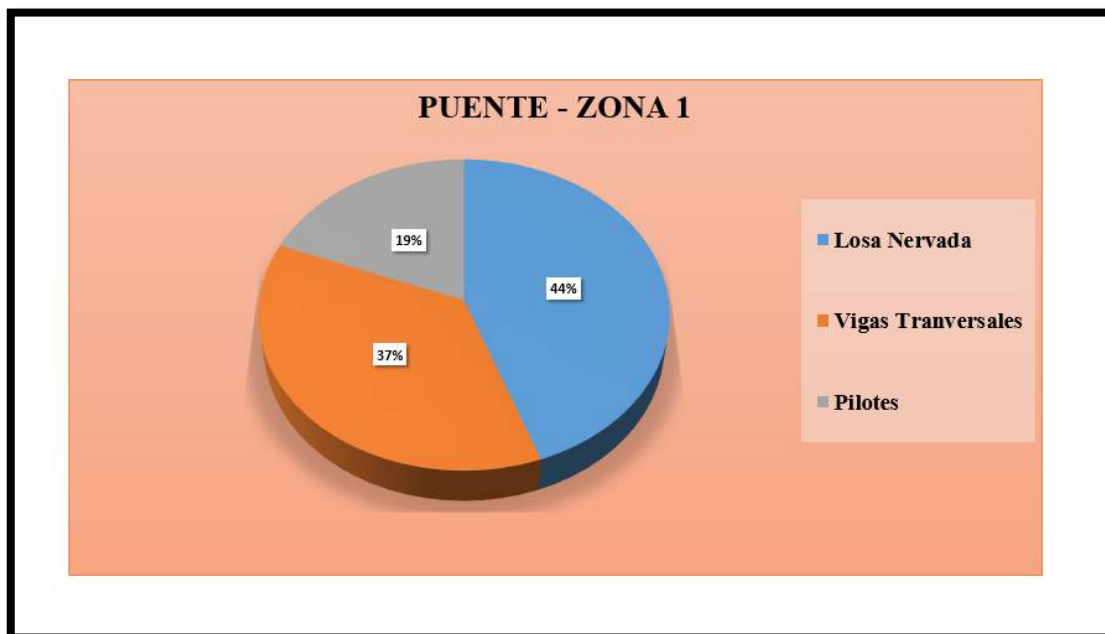
En la zona 1 de acuerdo a la inspección visual y análisis de resultados, se obtuvo lo siguiente:

**Losa nervada:** de la inspección visual esta estructura presenta un 44% de daños ya que hay exposición del acero de refuerzo, descamación, pérdida del agregado grueso, erosión. Siendo así es recomendable actuar de inmediato, ya que el deterioro es evidente.

**Vigas Transversales:** se encontró que el 37% de las vigas presentan daños moderados, debido a esto es necesario actuar para mejorar la estructura y así asegurarla para posteriormente hacer los ensayos correspondientes para determinar de manera más real el estado actual de la estructura.

**Pilotes:** de la inspección se obtuvo un 19% de daños, en este caso los pilotes presentan daños leves, lo que más afecta a estos elementos son los agentes biológicos y la decoloración y manchado. Se recomienda las mismas acciones que para el caso de las vigas.

Gráfico 48: Magnitud de daño en el puente



Fuente: Propia



## ZONA 2 – CABEZO

**Losa Nervada:** se obtuvo que el 24% está deteriorado observándose grietas, desprendimientos del recubrimiento además de la exposición del acero del refuerzo. Se recomienda también su reparación.

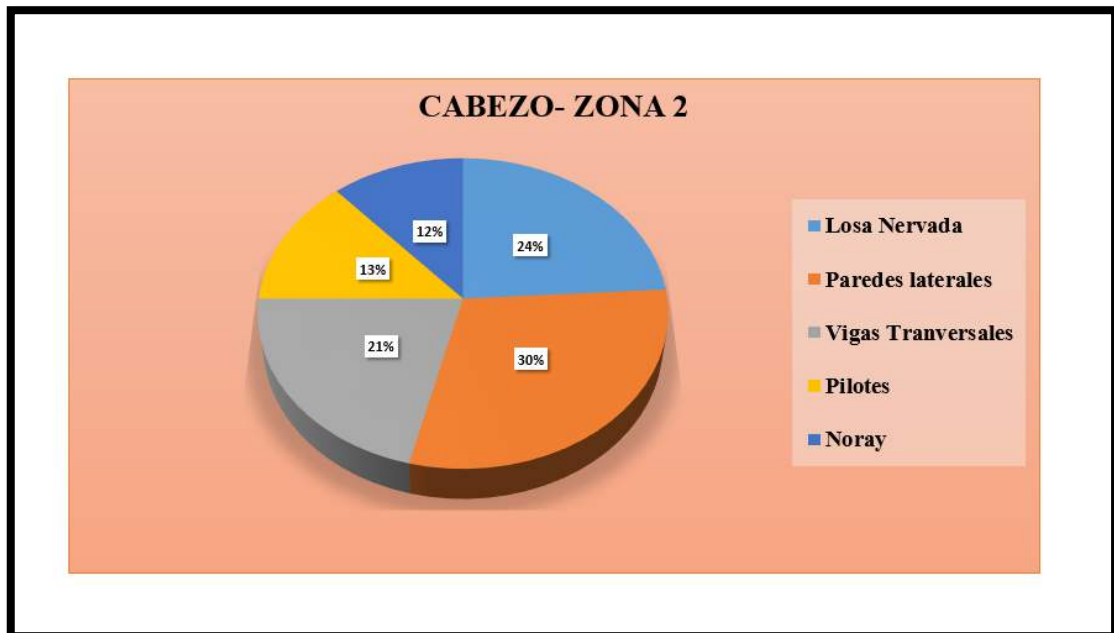
**Paredes laterales:** para esta parte de la estructura se obtuvo un 30% de deterioros. Presenta daños de consideración, esta parte de la estructura necesita un tratamiento inmediato para mantener su funcionalidad, para luego hacer los ensayos respectivos y determinar su estado real.

**Vigas transversales:** resultado que el 21% de las vigas está deteriorada de toda la zona. De acuerdo a la inspección estos elementos están más conservados, aunque presenta casi en toda su totalidad decoloración y manchado. Pero es necesario realizar una inspección detallada.

**Pilotes:** un 13% de los pilotes es el afectado, los pilotes están más conservados, aunque presentan agentes biológicos adheridos al elemento. Se recomendaría una limpieza para evitar el avance de los agentes biológicos y de la eflorescencia, además de los ensayos pertinentes.

**Noray:** presentan un daño moderado, el 100% de los elementos están oxidados y corroídos, fracturados de su base y deformados en un 10% aproximadamente. Para este caso también es necesario su mantenimiento y reparación para su buen funcionamiento.

Gráfico 49: Magnitud de daño en el cabezo



Fuente: Propia

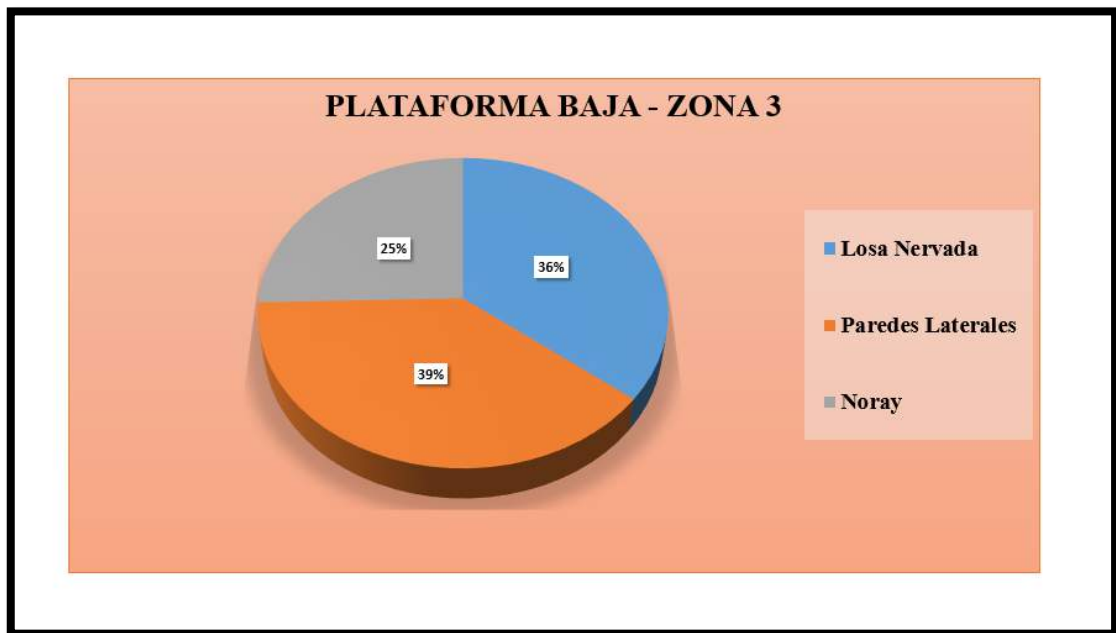
### ZONA 3 – PLATAFORMA

**Losa Nervada:** presenta daños moderados, afectado en su mayoría por grietas y en las esquinas descascaramientos con exposición del acero de refuerzo. Es necesario reparar esta estructura para que siga cumpliendo su función de manera normal.

**Paredes laterales:** también presenta daños moderados, más del 15% por grietas además de descascaramientos y facturas por impactos de barcos. Las recomendaciones son las mismas que para el caso de la losa nervada

**Noray:** estos elementos que sirven de amarre para los barcos, en su totalidad están oxidadas y corroídas, aunque cumplen con su función de manera normal es necesario hacer su mantenimiento respectivo para conservar dicho elemento.

Gráfico 50: Magnitud de daño en la plataforma



Fuente: Propia

## **4.2.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA EL MUELLE YACILA**

### ***4.2.1.1. SUSTITUCION DE LOSAS Y PAREDES LATERALES DEL MUELLE***

De acuerdo a la inspección visual y el correspondiente procesamiento de evaluación de los datos obtenidos resulto que los elementos más deteriorados son las losas y las paredes laterales del cabezo y de la plataforma. Asimismo, se aprecia visualmente que las vigas transversales se encuentran dentro de los parámetros de regular estado de conservación. Ante ello Una solución adecuada es sustituir las losas y las paredes por otras que cumplan con los requerimientos técnicos y estructurales apropiados para los requerimientos del muelle.

Esta solución no contempla la necesidad de remover los otros elementos componentes del muelle, pero si necesariamente se tendrá que hacer reparaciones y/o rehabilitación a las vigas transversales ya que estos elementos están en regular estado.

### ***4.2.1.2. REPARACIÓN DE DAÑOS***

#### ***4.2.1.2.1. Protocolo de Extracción Y Sustitución de Materiales Afectados:***

Este tipo de procedimiento se empleará en lugares donde se visualice desprendimientos de concreto, grietas que indiquen corrosión, manchas de óxido, acero de refuerzo expuesto y/o corroído, manchas o abultamientos de concreto.

El material dañado deberá ser removido completamente hasta llegar a las partes que estén en buen estado; en el caso del acero de refuerzo oxidado tendrá que descubrirse hasta conseguir material sano, es indispensable y obligatorio tener que profundizar detrás del acero no menos de 2cm, para permitir una mejor y adecuada inspección visual. Es de suma importancia considerar la situación ocurrente en caso Si el acero de refuerzo pierde más del 20% de su sección después de haber sido limpiado, éste deberá ser removido en su totalidad para garantizar los resultados.

No menos importante es considerar que la cavidad abierta que resulte de la extracción del material dañado y parte del que este sano, deberá tener superficies rugosas para garantizar la adherencia entre esta superficie con el nuevo material.

Las superficies descubiertas de concreto deberán ser cuidadosamente limpiadas buscando con ello minimizar la existencia de cuerpos extraños a la estructura mediante la aplicación de chorros de agua a presión; y en el caso de las superficies del acero oxidado ese procedimiento será manual utilizando cepillos de alambre de acero.

Una vez culminado en su totalidad el procedimiento de limpiado en las secciones dañadas, el acero de refuerzo deberá ser reemplazado por una pieza nueva de igual calidad y denominación. Para el caso del concreto debe utilizarse agregados limpios bien gradados y un cemento resistente a la acción de los sulfatos y contemplando el cumplimiento estricto de las recomendaciones técnicas señaladas. La sección reparada deberá estar bajo curado húmedo, con agua dulce, no menos de 10 días para así poder garantizar la hidratación y reducir el riesgo de agrietamiento.

#### ***4.2.1.2.2. Relleno de Cavidades***

Este procedimiento deberá utilizarse para reparar cualquier hoyo o cavidad, ya se intencional o producida por el uso y/o por cualquier tipo de acción que produzca una cavidad en el concreto:

Primeramente, deberá limpiarse la cavidad hasta que quede libre de fragmentos sueltos y/o cuerpos extraños a la estructura, pudiéndose emplear para esta acción chorros de agua a presión y cepillos de alambre.

Es recomendable el empleo de un mortero sin retracción o grout, utilizando agregados limpios, cemento resistente a la acción de los sulfatos y una correcta relación a/c según las características del sitio a rellenar.

La sección reparada deberá estar bajo curado húmedo, con agua dulce, no menos de 5 días para así poder garantizar la hidratación y reducir el riesgo de agrietamiento. (esto en el caso de cavidades o grietas menores a 5.0 Mn).

#### ***4.2.1.2.3. Tratamiento de Grieta Ancha con Abertura mayor o igual a 0.5 mm***

Primeramente, debemos acondicionar la superficie cortando el concreto con el fin de abrir la grieta en forma de cajuela, removiendo por medio de cepillado o empleando agua o aire a presión con el fin de que la superficie quede limpia de impurezas y contaminantes.

Se utilizarán dos tipos de mezcla, cemento más agua. Para la cual tendrán diferente dosificación, la primera será la lechada que se dosificará a razón de tres volúmenes de cemento por una de agua. La segunda mezcla sería la masilla que se dosificara a razón de seis volúmenes de cemento por una de agua.

Para el curado se deberá humedecer la superficie reparada cuando ésta endurezca para que no sea dañada. Se deberá mantener el área humedecida durante 10 días y no se recomienda colocar láminas de plástico directamente sobre la superficie tratada porque se requiere la circulación del aire para el curado adecuado.

#### ***4.2.1.2.4. Tratamiento de Fisuras con Abertura menor a 0.5 mm***

Para este tipo de tratamiento no se necesita picar la sección dañada a menos que se pueda visualizar una capa débil y despreciable. Todo material suelto se removerá por medio de cepillado o empleando agua o aire a presión con el fin de que la superficie quede limpia de impurezas y contaminantes.

La mezcla será de agua con cemento en proporciones adecuadas y para este tipo de procedimiento se tendrá que asegurar una mezcla uniforme. Para este caso deberemos tener la superficie húmeda, pero sin exceso de agua, aplicando una sola capa de la mezcla, con un espesor aproximado de 1 mm, ya que espesores superiores pueden causar inconvenientes de curado. La mezcla se colocará no menos de 4 cm alrededor, utilizando brochas semi-rígidas.

Para este caso también debemos mantener húmeda la superficie tratada después de haberse endurecido para que no se produzcan daños. Hay que mantener el área húmeda durante 10 días, sin colocar láminas de plásticos directamente sobre la superficie.

## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la inspección realizada se ha determinado que la zona de salpicadura (situado por encima de marea alta y baja) tiene mayor incidencia de corrosión debido a la alternancia entre húmedo y seco.
- El muelle en estudio carece de la ejecución cronológica y estrictamente técnica de acciones de mantenimientos preventivos periódicos y de la correspondiente reparación y/o rehabilitación apropiado. Provocando esta carencia que los daños y deterioros encontrados se multipliquen en grado de impacto y deterioro agravado esto por el ambiente marino el cual resulta altamente agresivo.
- Las causas del deterioro del muelle se deben principalmente al oleaje del mar, y en menor grado al contacto directo y continuo del agua marítima por debajo del espejo de agua y por ende se presentan en este contexto olas que golpean en forma continua y con gran fuerza la estructura que a la larga provoca desprendimientos, descascaramiento, corrosión interna y externa de la estructura, entre otros daños.
- Se ha observado que tanto las vigas transversales y pilotes del muelle están en un estado de conservación aceptable. En cambio, las losas nervadas se encuentran más deterioradas, en la parte superior siendo notorio esto por la observación visual de fisuras, agrietamientos, pulimento de agregado aparte de ello asimismo la losa en su parte inferior muestra desprendimientos, exposición del acero, corrosión y fisuras superficiales y eflorescencia.
- Después del análisis de resultados se concluye que los elementos estructurales más afectados son las losas nervadas y las paredes laterales. Para la zona 1, la losa está deteriorada en un 44%; para la zona 2, la losa presenta daños en un 24% y sus paredes laterales un 30%; en la zona 3 se obtuvo que el 36% de la losa está deteriorada, lo mismo para con las paredes laterales quienes presentan más deterioros en un 39%. De esta manera afirmamos que el muelle se encuentra en un mal estado.

## **5.1. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS**

- Es recomendable realizar una evaluación más profunda con ensayos de laboratorio que involucren tanto la estructura de concreto armado como también el agua de mar, para que nos permita conocer el estado actual de la estructura de una manera más real y exacta.
- A fin de contrarrestar los daños y deterioros del muelle en estudio se recomienda realizar un mantenimiento correctivo para asegurar una óptima funcionalidad de los elementos estructurales.
- Para evitar daños por impacto en la zona del cabezo que es donde atracan las embarcaciones, es recomendable cambiar el sistema de defensa ya que con el sistema que cuenta actualmente es inadecuado, debido al rápido deterioro y corrosión de las llantas y cadenas producto del oleaje e impacto de embarcaciones.
- Las personas a cargo de la administración del muelle deben realizar inspecciones, evaluaciones y diagnósticos de forma periódica para determinar el estado en que se encuentra la estructura y tomar las medidas pertinentes del caso.

## 5.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pacheco Quintana Guillermo Alexander (2013). “Estructuración de una guía metodológica para la inspección, diagnóstico y mantenimiento de los muelles de puertos a partir del caso muelles del puerto de Guayaquil”.
2. Rodríguez José. “Obras Portuarias: Problemas y Soluciones en el Hormigón”.
3. Bermúdez Odriozola Miguel Ángel, Alaejos Gutiérrez Pilar (2007). “Permeabilidad de los Cloruros del Hormigón Armado situado en Ambiente Marino Sumergido”
4. Ávila Mezarino Yoji Hobberg (2011). “Patologías, Inspección y Propuestas de Reparación de Estructuras de Muelles Portuarios – caso Región Ancash Perú”.
5. Ramos Lachira Nestor Daniel (2014). “Severidad Del Deterioro De Las Estructuras De Concreto Armado Del Centro Educativo San Pedro, Influenciado Por Un Ambiente Marino, Parachique – Sechura – Piura, Septiembre - 2014”
6. Alvarado Escobedo Luis Enrique (2015). “Determinación Y Evaluación De Patologías En Estructuras De Concreto Expuestos A Ambiente Marino En Muelles De La Provincia De Sechura, Departamento De Piura, Febrero 2015”
7. Pia Jelpo y Leticia Padilla, tesina 2009-2010. “Patología en Elementos Estructurales: Madera, hierro – acero y muro portante cerámico”
8. [https://es.wikipedia.org/wiki/Muelle\\_\(construcci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Muelle_(construcci%C3%B3n))
9. Guía de buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas, capítulo 8 – Muelles.
10. Braja M. Das. “Principios de ingeniería de Cimentaciones”. Cuarta Edición. California. International Thomson Editores 2009.
11. Hincapie Pasiminio Katherin. “Construcción y Reforzamiento del Muelle en Prolongación de la viga riel lado mar y lado tierra”. Repositorio [seriado en línea] 2011 [citado 2014 Enero 15], disponible en <http://repositorio.uniquindio.edu.co/handle/123456789/243>
12. Aliaga Miranda Gustavo, Castillo Chan Christian (2009). “Aspectos Relevantes de Cimentación con Pilotes y Proceso Constructivo de Muelle Artesanal”. Proyecto como parte del curso de actualización profesional.



13. Ocón Gómez Erick José (2014). “Consideraciones de Ingeniería para la Construcción de Muelles en Cartagena de Indias D. T. Y C.”
14. Jesús David Osorio. “Durabilidad del Concreto en Zonas Costeras y Obras Portuarias”. Disponible en <http://blog.360gradosenconcreto.com/705/>
15. Diego Sánchez de Guzmán. “Durabilidad y Patología del Concreto”. Asociación Colombiana de Productores del Concreto, Colombia - 2002.
16. <http://pe.globedia.com/que-es-la-patologia-de-la-construccion>
17. Bozo Pinto, Alfredo E., Caballero Ruiz, Mariela J., Yabur Addiego, Antonio A. (1993). “Patología de los Puentes de la Troncal 009 tramo Kempis-Boca de Uchire”. Trabajo especial de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
18. Elizabeth Avendaño Rodríguez (2006). “Detección, Tratamiento y Prevención de Patologías en Sistemas de Concreto Estructural Utilizados en Infraestructura Industrial”. Proyecto de Graduación, Costa Rica.
19. Muñoz Hidalgo, M. (1994). “Diagnosis y Causas en Patología de la Edificación”.
20. Porrero S. Joaquín, Ramos R. Carlos, Grases G. José, J. Velazco Gilberto (2004). “Manual del Concreto Estructural”.
21. Ramírez Salazar Raiza, Martínez León Diego, Párima Andrés (1985). “Patología y Correctivos a Daños en Estructuras de Concreto Armado”. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
22. Porto Quintan Jesús Manuel (2005). “Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado”.
23. Cerna Vásquez Marco, Galicia Guarniz William (2010). “Vida útil en Estructuras de Concreto Armado desde el Punto de Vista de Comportamiento del Material”.
24. ACI 224. 1R-93. “Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en estructuras de Hormigón”.
25. Patologías de la Edificación 24. “Corrosión en la Estructura del Acero”. Disponible en [http://www.concretonline.com/pdf/07construcciones/art\\_tec/patologia24.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/07construcciones/art_tec/patologia24.pdf)

26. Sánchez de Rojas Noguera María José (2004). “Extracción Electroquímica de Cloruros del Hormigón Armado: Estudio de Diferentes Variables que Influyen en la Eficiencia del Tratamiento”. Tesis de Doctorado.
27. “Manual de Inspección de Puentes”. Dirección de Obras Públicas y Transportes (MOPT), Costa Rica – 2007.

### 5.3. ANEXOS

➤ *PANEL FOTOGRAFICO*

**Gráfico 51:** vista lateral del muelle Yacila



**Fuente:** Propia

**Gráfico 52:** el oleaje del mar golpeando la estructura del muelle



**Fuente:** Propia

**Gráfico 53:** pérdida del agregado grueso



**Fuente:** Propia

**Gráfico 54:** descamación y pérdida del agregado fino



**Fuente:** Propia

**Gráfico 55:** descascaramiento y exposición del acero de refuerzo



**Fuente:** Propia

**Gráfico 56:** descascaramiento y exposición del acero de refuerzo – zona 2



**Fuente:** Propia

**Gráfico 57:** exposición del acero, corrosión y fracturas – zona 2



**Fuente:** Propia

**Gráfico 58:** grietas, desgaste de la superficie y fracturas – zona 3



**Fuente:** Propia

**Gráfico 59:** descascaramiento severo con exposición del acero y corrosión – zona 3





**Fuente:** Propia

**Gráfico 60:** manchas de óxido, fisuras y erosión – zona 3



**Fuente:** Propia

ii. PLANO DE UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

 <p style="text-align: center;"><b>PLANO DE UBICACIÓN</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>PLANO DE LOCALIZACIÓN</b></p>	<p><b>TESIS:</b> "INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO DEL MUELLE DE YACILA - PAITA - PIURA, SEPTIEMBRE 2015"</p>	<p><b>CENTRO DE ESTUDIOS:</b> UNIVERSIDAD CATOLICA LOS ANGELES DE CHIMBOTE</p> <p><b>PLANO:</b> UBICACIÓN</p>	<p><b>AUTOR:</b> BACH. KEVIN JOSUE ALVARADO RUESTA</p> <p><b>FECHA:</b> ENERO 2016</p> <p><b>LÁMINA:</b> <b>U-01</b></p>
---	--	--	---	--