

**Comportamiento del acero de los pilotes y el hormigón de los cabezales del
puente Los Caras por el cambio de nivel del río Chone.**

Ramírez Aguirre, Roberto Javier y Rayo Coral, Franklin Efrén

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil


Ing. Romo Proaño, Luis Marcelo M.Sc.

13 de agosto del 2020


URKUND**Document information**

Analyzed document RAMIREZ-RAYO_TESIS.docx (D77657627)
Submitted 8/11/2020 12:45:00 AM
Submitted by Pazmiño Montero Martha Elizabeth
Submitter email mepazminio@espe.edu.ec
Similarity 0%
Analysis address mepazminio.espe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA Memoria_TFM_EEBE_Escobar Arias Carla.docx  1
Document Memoria_TFM_EEBE_Escobar Arias Carla.docx (D42103881)

Firma:

**Romo Proaño Luis Marcelo**

C. C. 1703891950



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Comportamiento del acero de los pilotes y el hormigón de los cabezales del puente Los Caras por el cambio de nivel del Río Chone.**” fue realizado por los señores **Ramírez Aguirre Roberto Javier y Rayo Coral Franklin Efrén**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de agosto del 2020

Firma:

Romo Proaño Luis Marcelo

C. C. 1703891950



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Ramírez Aguirre, Roberto Javier** y **Rayo Coral, Franklin Efrén**, con cédulas de ciudadanía N°1717321846 y 0401230529, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Comportamiento del acero de los pilotes y el hormigón de los cabezales del puente Los Caras por el cambio de nivel del río Chone** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 12 de agosto de 2020

Firma:

Ramírez Aguirre, Roberto Javier
C.C. 1717321846

Rayo Coral, Franklin Efrén
C.C. 0401230529



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Ramírez Aguirre, Roberto Javier** y **Rayo Coral, Franklin Efrén**, con cédulas de ciudadanía N° N°1717321846 y 0401230529, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Comportamiento del acero de los pilotes y el hormigón de los cabezales del puente Los Caras por el cambio de nivel del río Chone** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 12 de agosto de 2020

Firma:

Ramírez Aguirre, Roberto Javier
C.C. 1717321846

Rayo Coral, Franklin Efrén
C.C. 0401230529

DEDICATORIA

A mis padres Silvio Rayo y Ligia Coral por haberme enseñado a luchar y trabajar constantemente para alcanzar mis metas, por su ejemplo de personas y seres humanos, a mi esposa Yadira Alvarez por su apoyo constante y el gran amor demostrado en todas las circunstancias de mi vida, a mi hija Sara y mi hijo Ezequiel por ser los ángeles maravillosos que iluminan mi vida que con su sonrisa y gestos me dan las fuerzas que necesito cada día, a mi hermana Patricia y mi sobrino Thiago gracias por ayudarme siempre, también para todas las personas que de diversas formas contribuyeron con su apoyo y colaboración en la realización de este sueño y me ayudaron hacerlo realidad, para Uds. vaya dedicado este trabajo con todo mi amor y gran aprecio.

En memoria de mi amada Abuelita Cornelia Coral, que Dios la tenga en su gloria.

Franklin Rayo

A Dios y a la Santísima Virgen que sobre todas las cosas por ser mi guía, a mis padres Jorge Ramírez y Elsa Aguirre que con su ejemplo de lucha y abnegación me enseñaron a dar siempre los pasos firmes, sin decaer ante las adversidades de la vida, a mi esposa Germania Garcés que con su amor, compañía y ejemplo, me ha dado la fuerza e inspirado a seguir adelante, y obsequiarme la mayor dicha de ser padre de mi amado hijo Ethan, que con sus gestos me han sabido motivar y darme el coraje de sobrellevar los problemas, a mis hermanos que han sido guías, amigos y confidentes, que con sus consejos me han llevado a tomar las mejores decisiones, a mis amigos que estuvieron presentes en las dificultades de la carrera y a todas las personas que fueron parte de esta meta que empezó como un sueño.

Roberto Ramírez

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme la vida y haberme dado la dicha de disfrutar de cada día, a mis padres por todas sus enseñanzas, a mi esposa por su gran paciencia y amor, a mis hijos por ser mi motor, al Ing Romo Marcelo quien nos orientó, guio y ayudo durante todo el proceso del trabajo de titulación. Agradezco en forma especial a quienes contribuyeron a la conclusión de este trabajo en las personas: Ing Cumbal Luis Ph. D, Ing Murgueitio Erika, Ing Stael Carina, Ing Debut Alexis Ph. D, Ing Vizuite Karla y al Dr Correoso Modesto, quienes con su importante conocimiento aportaron a la sustentación de esta investigación a todas las personas que nos ayudaron a seguir pese a las adversidades, para todos Uds. vaya mi más sincero agradecimiento por todo.

Franklin Rayo

A Dios por darme la sabiduría e inteligencia necesaria para culminar con éxito la carrera de Ingeniería Civil en tan prestigiosa Universidad.

A mis padres Jorge y Elsa que con su amor, apoyo y comprensión me animaron en los momentos difíciles y me hicieron un hombre de bien para la sociedad y la Patria

A mi esposa Germania por su paciencia y que, con su ejemplo, amor y apoyo, me enseñaron que nada es imposible cuando estamos juntos.

A mis hermanos con los que compartí mi infancia y adolescencia, los que son mis amigos, guías y consejeros.

Al Ing. Marcelo Romo por guiarnos y enseñarnos que en las estructuras los conocimientos no terminan nunca, a los docentes que nos colaboraron en la investigación con los medios y con los conocimientos.

Roberto Ramírez

TABLA DE CONTENIDOS

Urkund.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Indice de tablas	15
Indice de figuras.....	19
Resumen.....	25
Abstract	26
Capítulo I.....	27
Introducción.....	27
Antecedentes	28
Planteamiento del problema	38
Justificación e importancia	41
Objetivos.	42
Objetivo general del proyecto.	42
Objetivos específicos.	42
Capítulo II.....	43
Generalidades.....	43
Antecedentes de los estuarios en Ecuador.....	43
Ubicación	43

Influencia del estuario del Rio Chone	44
Características sedimentológicas de la desembocadura del Río Chone	48
Calidad de agua del Río Chone	50
Hormigón.....	53
Estados del hormigón	54
Factores que influyen en la corrosión de la armadura del hormigón armado.	54
Recubrimiento del hormigón.	55
Las zonas de mayor deterioro en el hormigón.	58
Factores que influyen en la degradación del hormigón	60
Ensayos a realizarse en las muestras de hormigón	68
Acero.....	74
Corrosión del acero.....	74
Aceros autoprotectores	81
Acero ASTM A588	86
Zonas del pilote expuestas a corrosión.....	88
Ensayos a los cupones de acero	94
Ensayos a realizarse en el material orgánico.	108
Capítulo III.....	116
Marco metodológico.....	116
Planificación	116
Diseño para el trabajo experimental	116
Población y muestra.....	118
Toma de muestras.	119
Experimentación con el hormigón.....	120

Experimentación con el acero de los pilotes.....	135
Análisis de la capa orgánica.	148
Capítulo IV	150
Análisis de resultados	150
Resultados	150
Resultados de ensayos realizados al hormigón.....	150
Medición de la absorción y porosidad.....	150
Medición de la carbonatación.	152
Medición del pH	154
Medición de la compresión.	156
Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS y microscopia electrónica de barrido.....	162
Espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS.	164
Microscopia electrónica de barrido	166
Resultados de ensayos realizados al acero.....	167
Medición de la corrosión.	167
Prueba de impacto.	172
Prueba de tracción del acero.	174
Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS y microscopia electrónica de barrido.....	181
Espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS:	185
Microscopia electrónica de barrido.	191
Resultados de ensayos realizados a la capa orgánica.	193
Muestra de materia orgánica y organismos encostrantes lixiviado.....	196

Capítulo V	200
Comparación de resultados	200
Análisis comparativo de resultados.....	200
Medición de la absorción y porosidad.....	200
Medición de la carbonatación.	201
Medición del pH	202
Medición de la resistencia a la compresión.	203
Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido.....	203
Resultados de ensayos realizados al acero.....	210
Medición de la corrosión.	210
Prueba de impacto.	214
Prueba de tracción del acero.	215
Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido.....	216
Resultados de ensayos realizados a la capa orgánica.	224
Microscopio electrónico de barrido empleando la técnica EDX (Energy Disperse X)...	224
Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido.....	225
Capítulo VI	227
Conclusiones y recomendaciones	227
Conclusiones.....	227
Recomendaciones	231
Referencias	232

Anexos 236

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de profundidades de pilotes.	31
Tabla 2 Caudales.....	52
Tabla 3 Visibilidad de la carbonatación con fenolftaleína.....	71
Tabla 4 Factores influyentes en la corrosión de pilotes en puertos, puentes.	80
Tabla 5 Evolución de la composición de aceros patinables normalizados a lo largo de la historia.....	84
Tabla 6 Propiedades de tensión mínimas requeridas para un acero ASTM A588.	87
Tabla 7 Rangos típicos de velocidad de corrosión para pilotes de acero.....	89
Tabla 8 Zona marina del pilote.	89
Tabla 9 Normas para los ensayos en el acero.	95
Tabla 10 Medidas requeridas de la probeta	98
Tabla 11 Dimensiones para prueba de tensión especímenes rectangulares.....	99
Tabla 12 Ensayos a realizarse en el material orgánico	109
Tabla 13 Ensayos realizados a las muestras de hormigón acero y capa orgánica.	117
Tabla 14 Pilas de las que se extrajo las muestras de acero y hormigón en el puente Los Caras.....	119
Tabla 15 Ensayos a realizarse en las probetas de hormigón del puente Los Caras....	121
Tabla 16 Principales elementos agresivos	127
Tabla 17 Factor de corrección	130
Tabla 18 Resistencia del hormigón con respecto a los días de elaboración.....	132
Tabla 19 Ensayos a realizarse en las probetas de acero del puente Los Caras.....	135
Tabla 20 Valores de la Constante K	142

Tabla 21 Resultado para medir la porosidad y absorción	151
Tabla 22 Medición de la velocidad de carbonatación	153
Tabla 23 Medidas del Phmetro	155
Tabla 24 Interpolación del factor de corrección	157
Tabla 25 Medidas de testigos y carga máxima soportada.....	158
Tabla 26 Cálculo de esfuerzos	158
Tabla 27 Cálculo del módulo de elasticidad.	160
Tabla 28 Deformación	160
Tabla 29 Aumento de la dureza del hormigón con respecto a su fabricación	161
Tabla 30 Medidas y peso de los testigos.....	168
Tabla 31 Cálculo de densidad y diferencia de masas de los testigos	169
Tabla 32 Velocidad de corrosión	170
Tabla 33 Prueba de ultrasonido.....	170
Tabla 34 Desgaste en función del tiempo	171
Tabla 35 Obtención del factor de picadura	171
Tabla 36 Diferencias de resultados entre teóricas y prácticas	172
Tabla 37 Medidas de probetas y resultado de la prueba Charpy	173
Tabla 38 Resultados de la prueba de elongación de la pila 19	176
Tabla 39 Resultados de la prueba de elongación de la pila 11	178
Tabla 40 Resultados de la prueba de elongación de la pila 35	179
Tabla 41 Análisis de Cu y Fe con espectrómetro de absorción atómica	193
Tabla 42 Análisis de Ni y Cr con el espectrómetro de absorción atómica.....	193
Tabla 43 Análisis de Mn con el espectrómetro de absorción atómica.....	193
Tabla 44 Resultado de la fórmula (mg/kg).....	194

Tabla 45 Interpretación de resultados	194
Tabla 46 Reconocimiento de material orgánico encostrantes	198
Tabla 47 Características del hormigón por su porosidad	200
Tabla 48 Óxidos admisibles por porcentaje en el hormigón	204
Tabla 49 Comparación de porcentajes de óxidos	204
Tabla 50 Carbonatación no expuesta	205
Tabla 51 Carbonatación expuesta	206
Tabla 52 Ion cloruro	207
Tabla 53 Sulfatos	208
Tabla 54 Ácidos orgánicos	209
Tabla 55 Parámetros que están afectando al hormigón	209
Tabla 56 Promedio de ensayos de velocidad de corrosión	211
Tabla 57 Comparación de resultados con el ultrasonido	212
Tabla 58 Proyección de corrosión del acero	212
Tabla 59 Diferencia entre velocidad teórica y velocidad práctica	213
Tabla 60 Resultados de la prueba Charpy	214
Tabla 61 Parámetros de energía para valorar los aceros	214
Tabla 62 Resultados del ensayo de tracción en Kgf	215
Tabla 63 Resultados del ensayo de tracción en Kg/cm ²	215
Tabla 64 Promedio de resultados del ensayo en Kgf	215
Tabla 65 Promedio de resultados del ensayo en Kg/cm ²	216
Tabla 66 Composición porcentual del acero de acuerdo al fabricante	217
Tabla 67 Comparación de la composición química del fabricante y lo encontrado en los pilotes	218

Tabla 68 Porcentaje de arsénico y niobio de acuerdo al fabricante	219
Tabla 69 Comparación de la composición química del fabricante y lo encontrado en los pilotes	220
Tabla 70 Contenido porcentual que excede o disminuye de la cara no expuesta.....	222
Tabla 71 Contenido porcentual que excede o disminuye de la cara expuesta.....	223
Tabla 72 Kilogramos del Metal por Kilogramo de Muestra	224
Tabla 73 Porcentaje del metal en la muestra	224
Tabla 74 Metales en organismos encostrantes	225
Tabla 75 Porcentaje de óxidos y ácidos orgánicos	226

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pilote	29
Figura 2 Pilotes de la Pila 44-45	30
Figura 3 Pilote sentido transversal de la zapata	31
Figura 4 Columnetas de hormigón armado	32
Figura 5 Planta zapata de pila tipo para tramos centrales	33
Figura 6 Planta zapata tipo II, nueve pilotes y planta zapata tipo I, ocho pilotes	33
Figura 7 Vigas perimetrales de los cabezales	34
Figura 8 Movimiento de las aguas del Río Chone	35
Figura 9 Detalle de Corrosión Generalizada por Carbonatación del Hormigón	37
Figura 10 Ubicación y características del estuario del río Chone	45
Figura 11 Agua en el estuario del Río Chone	46
Figura 12 Diferencia de Perfiles en invierno y verano	47
Figura 13 Perfil de oxígeno en el estuario del Río Chone en invierno y verano	47
Figura 14 Precipitación y evaporación en la estación la estancilla 2019	51
Figura 15 Demanda bioquímica de oxígeno y oxígeno disuelto	53
Figura 16 Estados del hormigón	54
Figura 17 Corrosión de las armaduras en el hormigón.	56
Figura 18 Tipos de corrosión de armaduras en el hormigón	57
Figura 19 Modelo simplificado del proceso de deterioro por corrosión de las armaduras.	57
Figura 20 Resistencia al hormigón con respecto al porcentaje de porosidad	60
Figura 21 Contenido de cloro en relación a la distancia superficial expuesta	63

Figura 22 Esquema del ataque del agua de mar sobre un pilar sumergido.....	65
Figura 23 Balanza electrostática de peso sumergido	68
Figura 24 Relación entre porosidad y resistencia	69
Figura 25 Esquema del Cálculo de la Velocidad de Absorción Inicial y Secundaria.....	70
Figura 26 Carbonatación de forma irregular y singular	71
Figura 27 Niveles de PH	72
Figura 28. Phmetro.....	72
Figura 29 Cilindro y máquina de compresión	74
Figura 30 Clasificación de la corrosión	76
Figura 31 Clasificación gráfica de la corrosión.....	78
Figura 32 Tipos de corrosión por picadura.....	79
Figura 33 Relación del espesos y tiempo de exposición.....	80
Figura 34 Evolución de la formación de herrumbre protectora y estable sobre aceros Patinables.	82
Figura 35 Zona marina del pilote.....	90
Figura 36 Aumento o disminución del Ph.....	92
Figura 37 Relación de la profundidad con el pH.	93
Figura 38 Relación de profundidad y temperatura, salinidad y oxígeno disuelto	94
Figura 39 Probetas de ensayo	97
Figura 40 Máquina para ensayo Charpy	99
Figura 41 Máquina para Prueba de Tracción	100
Figura 42 Curva esfuerzo deformación para aceros con bajo contenido de carbono. .	101
Figura 43 Tipos de fractura del acero	102
Figura 44 Principales especies causantes de biofouling.....	106

Figura 45 Etapas de la formación de las biopelículas	108
Figura 46 Espectrómetro de absorción atómica.....	110
Figura 47 Microscopio electrónico de barrido.	112
Figura 48 Causas de la corrosión del acero en el mar.....	113
Figura 49 Estéreo microscopio.....	114
Figura 50 Difractometría de rayos X	115
Figura 51 Pleamar y bajamar	119
Figura 52 Carbonatación del hormigón: combinación CO ₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH	124
Figura 53 Relación de exposición de cloruros en la superficie y tiempo de exposición	126
Figura 54 Relación de la profundidad de carbonatación y el tiempo de exposición.....	127
Figura 55 Proceso de trituración y tamizado del hormigón	128
Figura 56 Homogenización del hormigón.....	129
Figura 57 Máquina cortadora modelo C35001TX y probetas cilíndricas de hormigón.	130
Figura 58 Tipos de fracturas en el hormigón.....	131
Figura 59 Difractometría de rayos X	133
Figura 60 Espectroscopía de rayos X	134
Figura 61 Pesaje probeta de acero	137
Figura 62 Limpieza mecánica de la probeta de acero	138
Figura 63 Limpieza química de la placa de acero	138
Figura 64 Limpieza mecánica con equipo industrial	139
Figura 65 Tipos de picaduras dimensiones y profundidad.....	140
Figura 66 Factor de picadura	141

Figura 67 Probeta de acero para prueba Charpy.....	144
Figura 68 Máquina para prueba Charpy	144
Figura 69 Probeta para pruebas de tracción del acero	145
Figura 70	146
Figura 71 Muestras de acero y hormigón que serán empleadas en para en análisis del microscopio electrónico de barrido y refracción de rayos X	148
Figura 72 Pesaje de muestras de hormigón con balanza electrostática de peso sumergido	151
Figura 73 Absorción y porosidad del hormigón en las pilas del puente Los Caras.....	152
Figura 74 Medición de la carbonatación	153
Figura 75 Colocación del ácido clorhídrico a la probeta de hormigón.....	154
Figura 76 Medición con el Phmetro.....	155
Figura 77 Acción de la Carbonatación	156
Figura 78 Cilindro en la máquina de compresión estándar y cilindro luego de sopor_ tar la carga máxima.....	157
Figura 79 Cilindros sometidos a compresión	159
Figura 80 Resistencia del hormigón con retardante, acelerante y normal	161
Figura 81 Resistencia calculada del hormigón.....	162
Figura 82 Primer análisis de difracción de rayos X.....	163
Figura 83 Segundo análisis de difracción de rayos X.....	163
Figura 84 Muestra cabezal de pilote N° 22 parte expuesta al ambiente marino.....	164
Figura 85 Muestra cabezal de pilote N° 38 parte expuesta al ambiente salino	165
Figura 86 SEM de cabezal de pilote 22 parte expuesta al ambiente salino.....	166
Figura 87 SEM de cabezal de pilote 38 parte expuesta al ambiente salino.....	167

Figura 88 Testigos para la prueba de impacto	173
Figura 89 Deformación de las probetas después de la prueba Charpy	174
Figura 90 Probetas para el ensayo de tracción del acero	175
Figura 91 Prueba de tracción del acero	175
Figura 92 Esfuerzo de deformación de la pila 19	177
Figura 93 Esfuerzo deformación de la pila 11	178
Figura 94 Esfuerzo deformación de la pila 35	180
Figura 95 Probetas luego del ensayo de tracción del acero	181
Figura 96 XRD difracción de rayos x del acero prueba 1	182
Figura 97 XRD difracción de rayos x del acero prueba 2	182
Figura 98 XRD difracción de rayos x del acero prueba 3	183
Figura 99 XRD difracción de rayos x del acero prueba 4	183
Figura 100 XRD difracción de rayos x del acero prueba 5	184
Figura 101 XRD difracción de rayos x del acero prueba 6	184
Figura 102 Muestra pilote N° 09 parte expuesta al ambiente salino	185
Figura 103 Muestra pilote N° 09 parte no expuesta al ambiente salino	186
Figura 104 Muestra pilote N° 19 parte expuesta al ambiente salino	187
Figura 105 Muestra pilote N° 19 parte no expuesta al ambiente salino	188
Figura 106 Muestra pilote N° 41 parte expuesta al ambiente salino	189
Figura 107 Muestra pilote N° 41 parte no expuesta al ambiente salino	190
Figura 108 SEM de pilote 09 parte expuesta al ambiente salino	191
Figura 109 SEM de pilote 09 parte no expuesta al ambiente salino	191
Figura 110 SEM de pilote 41 parte expuesta al ambiente salino	192
Figura 111 SEM de pilote 41 parte no expuesta al ambiente salino	192

Figura 112 Materia orgánica de organismos encostrantes en incrustaciones ente los organismos y la patina.	195
Figura 113 Gráfica porcentual de materia orgánica de organismos encostrantes en incrustaciones ente los organismos y la patina.....	196
Figura 114 Contenido de cada elemento por porcentaje de la masa.....	196
Figura 115 Relación de tiempo y profundidad de corrosión	202
Figura 116 Proyección de la corrosión del acero	211

Resumen

El presente trabajo, pretende establecer parámetros para el diseño de la infraestructura de puentes, sometidos a ambientes marinos, para contribuir con información, que es escasa en el país, para ello se pretende abordar estos comportamientos en ambiente salino del hormigón y el acero A588 CORTEN TIPO B. El comportamiento del hormigón armado y el acero en ambiente salino presenta una degradación y corrosión, no lineal que encierra varios parámetros como: el ambiental, humedad relativa, contenidos de elementos abrasivos en el agua, crecimiento de la biopelícula de organismos encostrantes y el movimiento del agua. Para el hormigón armado, el comportamiento estructural prima fundamentalmente el diseño de su resistencia y recubrimiento, la calidad de los elementos que lo componen, esto refleja la porosidad contenida y estima su permeabilidad. Para el acero depende esencialmente de la calidad de sus elementos, se recomienda el empleo de Acero Corten el cual genera una capa de óxido prematura que protege al resto del acero, es determinante en las aleaciones que establece el fabricante, apegadas a las normas ASTM, la condición de oxidación y la acción de organismos encostrantes que generan ácidos.

PALABRAS CLAVE:

- **AMBIENTES MARINOS**
- **DEGRADACIÓN**
- **CORROSIÓN**
- **ORGANISMOS ENCOSTRANTES**
- **COMPORTAMIENTO**

Abstract

This work aims to establish parameters for the design of bridge infrastructure, subjected to marine environments, to contribute information, which is scarce in the country, for this purpose it is intended to address these behaviors in a saline environment of concrete and steel A588 CORTEN TYPE B.

The behavior of reinforced concrete and steel in a saline environment presents a non-linear degradation and corrosion that contains several parameters such as: the environment, relative humidity, content of abrasive elements in the water, growth of the biofilm of crusting organisms and the movement of the Water.

For reinforced concrete, the structural behavior fundamentally prevails the design of its resistance and covering, the quality of the elements that compose it, this reflects the contained porosity and estimates its permeability. For steel it depends on the quality of its elements, the use of Corten Steel is recommended, which generates a premature oxide layer that protects the rest of the steel, it is decisive in the alloys established by the manufacturer, adhering to ASTM standards, the oxidation condition and the action of crusting organisms that generate acids.

KEYWORDS:

- **MARINE ENVIRONMENTS**
- **DEGRADATION**
- **CORROSION**
- **ENCOSTRATING ORGANIZATIONS**
- **BEHAVIOR**

Capítulo I

Introducción

Por la disminución de propiedades físicas y químicas de un material y con ambiente propicio pueden formarse actividades microbianas. La corrosión de los metales se forma de diversas formas para el acero obedece a sus características. Con la formación de óxido en el metal sometido en el ambiente salino, los aniones de cloruro y sulfato migran a la zona de corrosión, para contrarrestar la pérdida de carga, esto origina un consecutivo desgaste del material que disminuye paulatinamente su resistencia.

La corrosión empieza conforme la agresividad del medio ambiente actúe, modifica sus elementos metálicos y disgrega al material, esto produce disolución del acero que es seguida por una difusión radial, donde el pH es relativamente alto y la precipitación oxido-hidróxido férrico causa un proceso continuo que con el tiempo reduce las secciones del acero, este proceso genera una especie de tubérculos que frecuentemente se sitúan generalmente alrededor de las picaduras.

El hormigón que es sometido a medios agresivos como el ambiente salino puede verse afectado en la resistencia y durabilidad esto varía con la cercanía al mar o la severidad de la exposición, el inicio de la degradación depende en gran parte de la velocidad de penetración, carbonatos, cloruros, sulfatos u otros en el hormigón, esto depende de la calidad de este. El período de propagación de la degradación depende del nivel de disponibilidad de oxígeno, considerando la permeabilidad al oxígeno que pueda tener por su dosificación y resistencia.

Para estructuras de hormigón armado expuesta al agua salada el incremento en la degradación depende de la zona en la que le llegue en agua o este sumergida o enterrada en el lecho marino como ejemplo la zona sumergida es donde el hormigón siempre está saturado, y la degradación penetra por presión, en la zona semisumergida el hormigón no llega a secarse porque el nivel de la corriente sube y baja de nivel esto hace que permanezca húmeda y la zona de salpicaduras donde el hormigón puede permanecer seco dependiendo del cambio de nivel de las mareas en esta zona el agua salada tiene poco contacto directo con el agua salada.

Antecedentes

El Río Chone nace en las estribaciones de las montañas de Conguillo, y atraviesa la provincia de Manabí de este a oeste en un recorrido de 95 km desembocando en el océano Pacífico, en un amplio estuario que separa a dos localidades Bahía de Caráquez y San Vicente, para mejorar su movilidad se construyó el puente “Los Caras” que une a estas localidades.

El Puente “Los Caras” se encuentra entre el cantón Sucre y San Vicente, con una longitud de 1980 m esta obra se tornó necesaria para mejorar la movilidad de los corredores viales de Manabí.

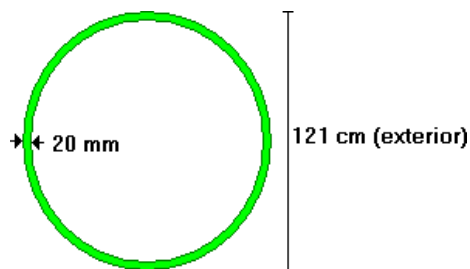
Con el paso de los años esta obra ha trascendido en gran medida ya que al ser una vía de primer orden contribuye a la movilidad de personas, productos, insumos etc., al ser un punto álgido en el terremoto de abril de 2016 se pudo palpar su importancia ya que facilitó el transporte de abastecimientos y permitió la movilidad de la asistencia y varios requerimientos. Por esta razón resulta de vital importancia el monitorear el comportamiento ante el ambiente salino que ha dispuesto el puente durante estos 10 años de funcionamiento. Para realizar una descripción más

detallada de los elementos que son objeto de análisis para verificar en comportamiento de parte de la infraestructura del puente se detallan como sigue:

Los pilotes fueron colocados por hincamiento, en el tramo central donde frecuentemente la marea varia su nivel de agua estos son pilotes metálicos de acero A588, circulares de 121 cm de diámetro externo, de 20 mm de espesor y que en su interior llevan incluidas columnas circulares sunchadas tapón de hormigón armado, estas columnas internas se colocaron con el objeto de controlar la corrosión en los pilotes metálicos y la transferencia de solicitaciones entre las vigas de zapata y los pilotes sea más eficiente, estas columnas son capaces de resistir por sí solas la flexo compresión de las solicitaciones de acuerdo al diseño del puente si se daña en su totalidad el acero.

Figura 1

Pilote

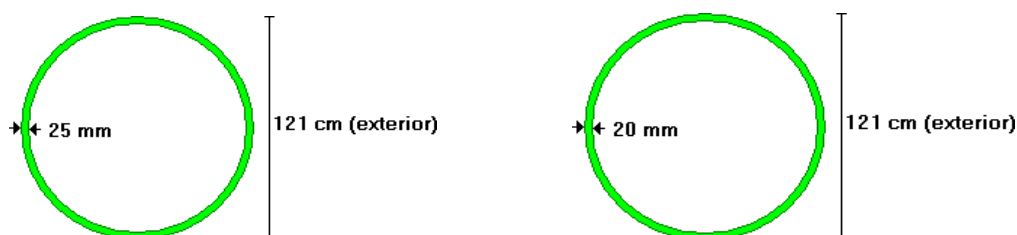


Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

Los pilotes fueron hincados en el acceso a San Vicente - agua son en su mayoría pilotes metálicos, de acero A588, circulares de 121 cm de diámetro externo, de 25 mm de espesor, combinados en las pilas P44 y P45 con pilotes de 121 cm de diámetro y 20 mm de espesor. Como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Pilotes de la Pila 44-45



Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

Con el objeto de controlar la corrosión en los pilotes metálicos, y de que la transferencia de solicitaciones entre las vigas de zapata y los pilotes sea más eficiente, dentro del pilote metálico se colocó una columneta de hormigón armado (columna – tapón), con capacidad de resistir la flexocompresión por si sola que afectaba al pilote de acero.

El hormigón armado, de la columneta de 1.18 m de diámetro está conformado por 36 varillas de hierro, llega 2 m por debajo del cauce del río y tiene al menos 5 m de longitud, lo que permite mejorar la resistencia a la corrosión disminuyendo el momento flector bajo la zapata en los pilotes metálicos a menos del 50% del momento.

De acuerdo a las estimaciones de corrosión por parte del diseñador del puente, para los pilotes de acero se estima un aproximado de 50 micras por año o 1 mm cada 20 años. (Romo Proaño, 2010, pág. 32) .

A continuación, se presentan en la Tabla 1 las profundidades de los pilotes y los diagramas de armadura de las zapatas de pila.

Tabla 1

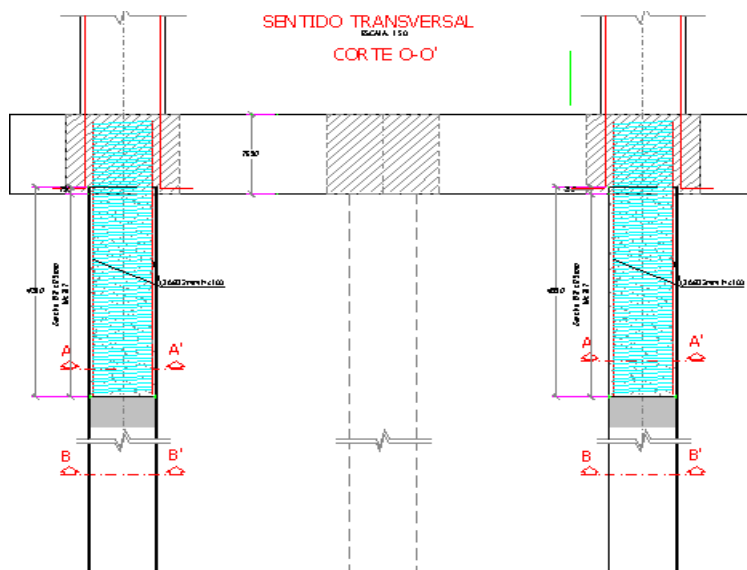
Cuadro de profundidades de pilotes.

Pila	Long Pilote (m)	Pila	Long Pilote (m)	Pila	Long Pilote (m)	Pila	Long Pilote (m)
P7	29,76	P17	59,52	P27	44,64	P37	59,52
P8	44,64	P18	59,52	P28	44,64	P38	59,52
P9	59,52	P19	59,52	P29	44,64	P39	59,52
P10	59,52	P20	44,64	P30	44,64	P40	59,52
P11	59,52	P21	44,64	P31	59,52	P41	59,52
P12	59,62	P22	44,64	P32	59,52	P42	44,64
P13	59,62	P23	44,64	P33	59,52	P43	44,64
P14	59,62	P24	44,64	P34	59,52	P44	74,40
P15	44,64	P25	44,64	P35	59,52	P45	59,52
P16	59,52	P26	44,64	P36	59,52	P46	59,52

Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

Figura 3

Pilote sentido transversal de la zapata



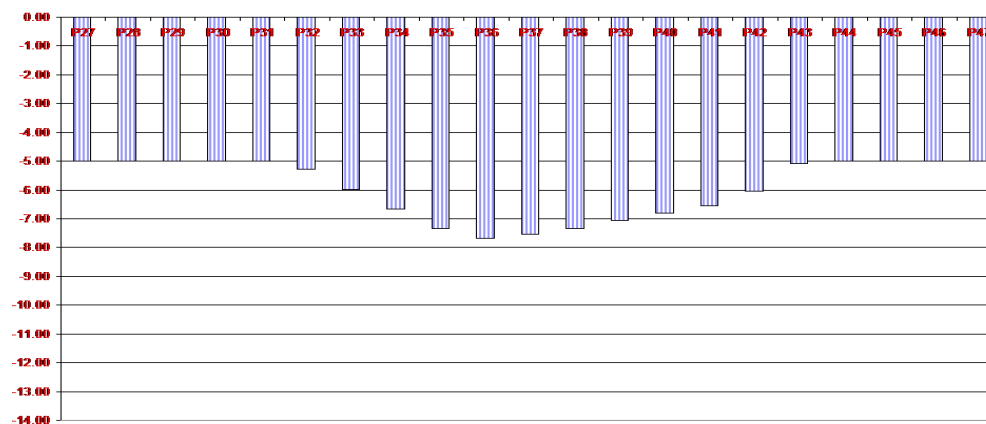
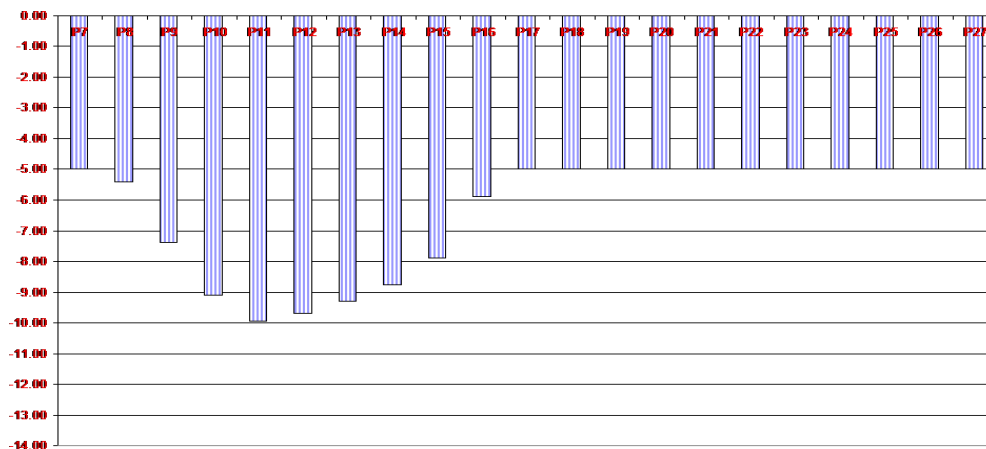
Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

En los cabezales de los pilotes existen las vigas perimetrales que son de 140 cm x 165 cm, se colocaron 13 varillas de 32 mm tanto para momento positivo como

negativo, mientras que las vigas centrales de arriostamiento de 50 cm x 165 cm se necesitó 7 varillas de 32 mm. (Romo Proaño, 2010)

Figura 4

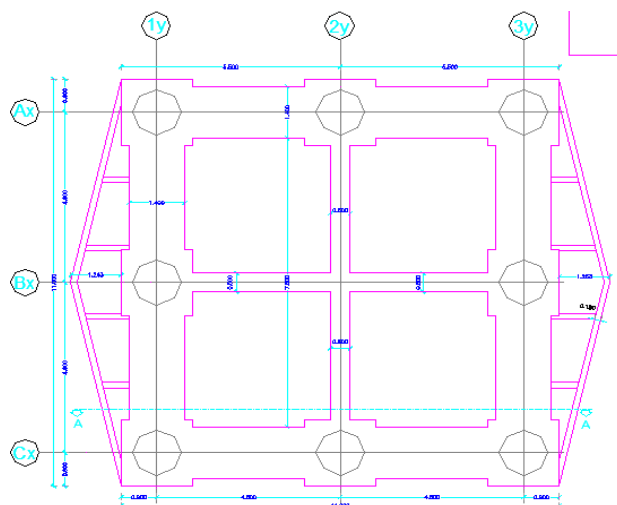
Columnetas de hormigón armado



Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

Figura 5

Planta zapata de pila tipo para tramos centrales

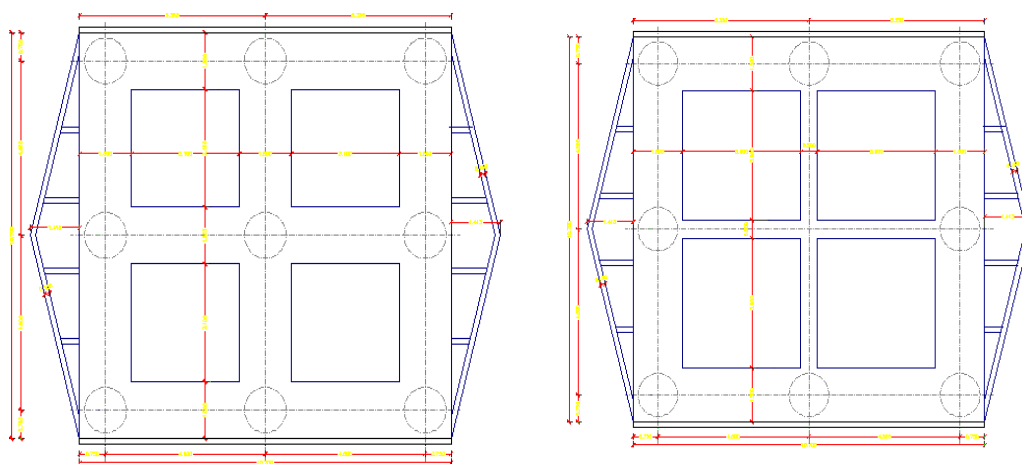


Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

Las zapatas del tramo central se alteran al no tener en el centro un pilote, y esta es para ocho zapatas de pilote, como se muestra en la Figura 6

Figura 6

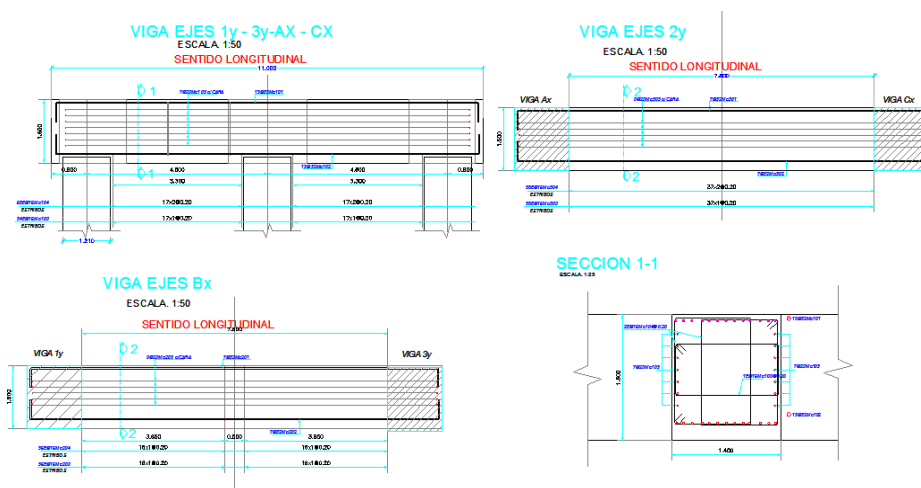
Planta zapata tipo II, nueve pilotes y planta zapata tipo I, ocho pilotes



Nota: Tomado de Romo Proaño, 2010

Figura 7

Vigas perimetrales de los cabezales



Nota: Tomado de Cuerpo de Ingenieros del Ejército, 2007

El agua que está en el estuario del río Chone corresponde en su mayoría a agua de mar esto debido al desnivel y proximidad al océano, el caudal de agua dulce se mueve por encima de la dulce en inicio hasta que paulatinamente se van mezclando, debido al importante caudal de agua de mar que ingresa hasta la altura donde se sitúa el puente esta es en su mayoría salada más aún en verano, pero en invierno supone un incremento de agua dulce. La corriente es variable de acuerdo al comportamiento de la marea lo que resulta notorio a simple vista, en el margen del estuario próximo a San Vicente se nota el flujo de una corriente mayor de agua dulce que en pleamar no es notoria, por ello el flujo de partículas, sedimentos y organismos es constante.

Figura 8

Movimiento del agua en el estuario del Río Chone



Nota: Tomado de Cuerpo Olsen, 2014

Las obras que se construyen en el mar, pueden presentar en sus elementos estructurales de la infraestructura succión capilar que puede provocar saturación y cristalización en el hormigón y eflorescencias en su superficie. El agua de mar puede provocar un ataque químico sobre el hormigón como su degradación y más grave aún la posible corrosión del acero debido a la presencia de cloruros como catalizador de la misma (Matute Rubio & Pulido Sanchez, 2012)

De ahí que, conocer las condiciones reales de agresividad a las que está sometida la estructura y su desempeño hasta el momento, permitirá tomar las medidas pertinentes para evitar su deterioro o reducir la velocidad a la que éste se produce. El agua de mar contiene cloruros, sulfatos, una variedad de elementos y microorganismos, así como los contaminantes de origen humano que puede arrastrar el río Chone, los cuales son nocivos para el hormigón armado en todas las zonas del puente.

Por múltiples actividades que se realizan aguas arriba del estuario del río Chone existe una gran contaminación humana al caracterizar esta acción se evidencia como esta repercute en las obras implantadas en este ambiente, cual boomerang, como es el caso de las obras de ingeniería, en particular el puente “Los Caras” sobre el estuario del río (Matute Rubio & Pulido Sanchez, 2012).

Los daños y patologías más habituales que suelen presentar los diferentes elementos que conforman los puentes son tres:

En las cimentaciones, especialmente en los pilotes que tienen contacto directo con el agua salina de cauces. En los apoyos, por los incrementos y transmisión de cargas que estos deben soportar. Los sistemas de drenaje e impermeabilización, incluyendo entre estos a las juntas de dilatación que pueden suponer la penetración de agua a los elementos y los impactos directos de las cargas de vehículos. Algunos de los daños y patologías se presentan en puentes resientes menores a 10 años, así como los construidos hace varios años, las reparaciones de ellos pueden ser cuantiosas en tanto un buen mantenimiento podría prevenir varias patologías. (Matute Rubio & Pulido Sanchez, 2012).

La carbonatación

La carbonatación implica el descenso del pH del hormigón al ir desapareciendo el hidróxido cálcico, principal responsable de que la pasta cementante sea un medio fuertemente básico o alcalino (pH del orden de 12-13). Este fenómeno tiene lugar en todos los hormigones y se va produciendo a partir de la superficie y penetrando hacia el interior. La velocidad de penetración depende de la permeabilidad del propio hormigón, del ambiente que le rodea, especialmente las condiciones de humedad, así como la propia circulación del aire con aporte de oxígeno.

Figura 9

Detalle de Corrosión Generalizada por Carbonatación del Hormigón

**La Corrosión**

Corrosión en los elementos metálicos es el principal problema de durabilidad de estas estructuras, resultando altamente sensibles a los factores climáticos y ambientales. Por tanto, estas estructuras requieren un sistema de protección contra la corrosión que asegure el buen estado de conservación de la misma, implicando la necesidad de un mantenimiento periódico con mayor énfasis en los que se encuentran en ambientes marinos. Un sistema de protección inadecuado o un mantenimiento deficiente dejan a la estructura totalmente expuesta a los ataques del entorno, que comienza a deteriorar el metal mediante alteraciones químicas, a una velocidad que depende en gran medida de la temperatura, la humedad y la agresividad del aire en contacto con los elementos, produciéndose la corrosión del metal.

La corrosión del acero es un fenómeno superficial, por ello en el interior de este el material se encuentra en perfectas condiciones, la corrosión invade desde el exterior hacia el interior no obstante pueden suponer la aparición de entallas, mordeduras y fisuras, ello puede ocasionar problemas por fatiga o terminarse rompiendo por las sollicitaciones de carga. (Matute Rubio & Pulido Sanchez, 2012).

La mayor parte de la infraestructura del puente, esto referido a los pilotes se encuentra 100% expuesto a los desgastes paulatinos por la cantidad de sal en el agua aumento de nivel en el río lo cual hace que exista un desgaste en la resistencia real de los materiales sometidos a las cargas y solicitaciones permanentes del puente.

El biofouling

Es la acumulación de organismos acuáticos, que forman una película orgánica, tanto con macro como micro organismos, donde se retienen partículas inorgánicas (productos de corrosión y cloruros). En el manglar habitan muchos mariscos, moluscos y microorganismos: cangrejos, camarones, conchas, entre otras especies. (Rojas, 2005)

Planteamiento del problema

El puente “Los Caras” ha constituido una excelente alternativa para la movilidad del sector y el tránsito que bordea las playas, anteriormente la carretera existente en períodos antes de su construcción debía dar la vuelta recorriendo una distancia de alrededor de 62,90 km, ahora esta obra contribuye a la conexión entre los cantones Sucre, San Vicente, Jama, y Pedernales.

En Ecuador no existen estudios sobre el comportamiento de las estructuras de hormigón armado y aleaciones de acero frente al agua de mar. Siendo el hormigón armado un material heterogéneo, de propiedades muy variables que dependen, fundamentalmente, de las características de sus componentes, cantidades de agregados, tipo de cemento, puesta en obra, curado y conservación en el medio, etc. El gran desarrollo que la técnica ha experimentado hace que en el diseño de las estructuras ocupe un lugar fundamental su comportamiento frente a los

posibles agentes agresivos, es decir, su durabilidad química, y las medidas preventivas que se deben tomar.

En efecto, el agua de mar provoca un proceso muy complejo sobre el hormigón en el que intervienen gran número de parámetros mecánicos, físicos, químicos, biológicos y atmosféricos. Sin embargo, la agresividad química de los componentes del agua marina sobre los productos de hidratación del cemento, pueden provocar expansiones, cristalización fisuras y desgaste de los espesores en el hormigón, también puede alcanzar a la corrosión de las armaduras y a la erosión física debida al oleaje. Además, el CO_2 disuelto en el agua carbonata gradualmente al hormigón, formando una capa superficial de carbonato cálcico ello conlleva que ha condiciones atmosféricas se vaya degradando el hormigón. (Yepes, s.f.)

De lo expuesto se debe indicar que un hormigón de razonable calidad, no suele ser un serio problema el ataque químico por el agua de mar. El parámetro esencial que determina el buen comportamiento de un hormigón es su compacidad y la morfología de sus poros. Por tanto, aunque el agua de mar podría considerarse como poco agresiva respecto de los hormigones, el ambiente marino, por sí mismo, resulta fuertemente agresivo.

El tema es más difícil para el hormigón armado por el ataque que pueden sufrir las armaduras. Los iones cloruro penetran por difusión por los poros del hormigón y llegan a las armaduras, donde forman un electrolito conductor que rompe su capa pasivante y se produce la oxidación que puede ser general o localizada. Por esta razón en obras en estos ambientes los diseños e implantaciones deben ser rigurosos en cumplir con los espesores de recubrimientos que protegerán y asegurarán la existencia de las obras. (Yepes, s.f.)

Los compuestos que resultan de la combinación del cloro con una sustancia simple o compuesta excepto hidrógeno u oxígeno se los denomina cloruros. El cloruro más conocido es el de sodio o sal común, este y otros cloruros son altamente solubles, por lo que contaminan fácilmente el agua, por intrusión salina en pozos y por efecto de la pleamar, en estuarios, etc.

Independientemente de sus efectos nocivos sobre los aceros, los cloruros pueden estar en el origen de las alteraciones de los componentes ligantes cuando están en proporciones elevadas. Los niveles corrientes del río suben y bajan debido al ingreso y salida del agua de mar, el alto porcentaje de contaminación se produce en el mar es a causa de las actividades humanas, que son transportados por los ríos al mar y la población en las cercanías de las costas en especial en zonas urbanas, donde una parte importante se ubican en los océanos. Esto puede provocar ataques químicos sobre el hormigón como la posible corrosión del acero. El agua de mar contiene cloruros y sulfatos, así como los contaminantes de origen humano que puede arrastrar el río Chone, los cuales son nocivos para el hormigón armado en todas las zonas del puente y más aún en las zonas de movimiento de mareas y de salpicaduras.

El acero que está expuesto directamente al medio ambiente, tiene un comportamiento diferente, por ser aleaciones que son integradas por componentes químicos que reaccionaran de una forma distinta al contacto con el agua de mar. Al ser estas aleaciones de acero la mayor parte de su constitución hierro, tiene incidencia el oxígeno, que produce oxidación en los metales, y al estar en contacto con la humedad genera la corrosión. Existe también la corrosión química y

bioquímica, que se presentan por múltiples factores, que al pasar del tiempo reducen las capacidades mecánicas del acero.

Justificación e importancia

Posterior a la inauguración del Puente “Los Caras” el 3 de noviembre de 2010 el mismo que está constituido por 1980 metros de luz, un ancho de 13,20 m compuesto por 160 pilotes y 20 zapatas que se encuentran en contacto directo con el agua salada da lugar a que se realice un análisis evaluando el actual funcionamiento, para que en forma técnica se obtengan datos reales sobre el comportamiento que actualmente tienen los pilotes y los cabezales de pilote del puente.

La investigación a realizarse busca analizar el comportamiento del acero y hormigón ante el agua de mar y condiciones adversas ambientales planteando las diferentes patologías que al momento del estudio podrían presentar los pilotes y los cabezales de pilotes del puente “Los Caras”.

La propuesta está orientada a beneficiar a la población de la Costa y todas las personas que en forma directa e indirecta usan el Puente “Los Caras” que articula una de las principales arterias para la movilidad en esta zona del país, también contempla el beneficio para establecer futuros diseños que realice tanto el C.E.E y los entes constructores para obras similares o sometidas a semejantes condiciones, las cuales son de beneficio para el desarrollo del país.

Al respecto únicamente se ha desarrollado un estudio mediante el empleo del Índice Langelier que obedece a un estudio realizado “Impacto del Agua del Estuario en la Durabilidad del Puente los Caras” por Juan Carlos Guerra Mera, Virginia Sánchez Mendoza, Irene Caballero Giler, Francisco Sánchez Plaza, Universidad Técnica de Manabí (UTM), este estudio que refleja los parámetros químicos de

contaminantes externos que tiene el estuario, más cabe señalar que no existe un estudio técnico que detalle con datos técnicos el comportamiento que tiene en la actualidad el puente, luego de haber sido sometido durante estos casi 10 años a las sollicitaciones de carga con el funcionamiento normal y a su vez las condiciones adversas a las cuales se hallan sometidos sus elementos.

El Ecuador tampoco existen estudios referentes a las evaluaciones a estructuras en semejantes condiciones a las del estuario del río Chone, con elementos sometidos a agua salada con subidas y bajadas de marea, esto conlleva a una necesidad de determinar y analizar en forma particular a esta obra emblemática como lo es el puente “Los Caras”.

Objetivos.

Objetivo general del proyecto.

Determinar el comportamiento estructural del acero de los Pilotes y el hormigón de los cabezales, por las acciones químicas del cambio de nivel en el Río Chone, del Puente Los Caras.

Objetivos específicos.

Estimar en forma técnica el desgaste y la durabilidad del hormigón armado y el acero empleados en los pilotes y cabezales del Puente “Los Caras”.

Determinar las condiciones que influyen en el deterioro de los componentes estructurales (pilotes y cabezales), del puente “Los Caras”, debido al agua salada, durante su vida útil.

Plantear recomendaciones para disminuir las afectaciones a construcciones futuras que se encuentren sometidas a similares condiciones ambientales.

Capítulo II

Generalidades

Antecedentes de los estuarios en Ecuador.

Estuario es la región donde desemboca un curso de agua de gran caudal en el océano. Suele estar compuesto por un único brazo de gran profundidad y tener una forma similar a un embudo, con lados que se van alejando en la misma dirección que la corriente (Pérez Porto, 2011).

Los estuarios en Ecuador corresponden a uno de los sectores costeros con los ecosistemas marino-terrestres más biodiversos, los cuales incluyen muchas especies de aves, peces, crustáceos, moluscos y otras especies. Estas zonas ofrecen una gama de condiciones ideales para albergar un sinnúmero de especies endémicas de estos ecosistemas. Los estuarios más importantes en el Ecuador son: Estuario del río Mataje, estuario del río Esmeraldas, estuario del río Chone, estuario del río Guayas, estuario del río Jubones.

Ubicación

El estuario del río Chone se forma en el cantón Chone y aguas abajo se encuentra entre el cantón San Vicente y en el cantón Sucre, se extiende entre estos cantones con una longitud aproximada de 36 Km y un ancho de 3 Km. en la parte más amplia y 15 metros la parte más angosta.

El río Chone posee un área aproximada de 2483 km² y tiene un caudal promedio de 26 m³/s siendo el río más caudaloso e importante de la provincia de Manabí. Posee un clima tropical árido a semiárido, por lo que se presentan

estaciones de lluvia y sequía muy marcadas, de diciembre a mayo se concentran las lluvias y el resto del año corresponde a una época de sequía, se estima que presenta una precipitación promedio anual de 1070 mm. La temperatura máxima que presenta es de 32°C y la mínima es de 13°C.

El tipo de marea es semidiurna, manteniendo la característica de 2 pleamares y 2 bajamares al día, la marea más pronunciada se encuentra entre los meses de diciembre a abril con una amplitud promedio de marea de 3,04 m (Castro Rodas & Chang, 2015).

El viento que prevalece en el área manteniendo una velocidad promedio anual de 6 nudos que proviene del oeste y en menor proporción del noroeste. Las olas producidas por los vientos son de poca altura siendo aún menores en el interior de la bahía debido a la poca profundidad. En el exterior de la bahía el oleaje es fuerte, especialmente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Influencia del estuario del Río Chone

El estuario avanza en su recorrido de este a noreste encerrado por los sistemas cordilleranos de Bahía y San Vicente. Las riveras son de contorno suave y amplio, se observa una disminución del manglar dominado por las camaroneras.

Los centros urbanos que colindan con el estuario del Río son Bahía y San Vicente. Desde las proximidades de Bahía hasta San Ignacio en que se localizan a cada lado de las riberas del estuario hacia la desembocadura. Las islas que se

encuentran dentro del Estuario del río Chone son la Isla Corazón, Isla del Sol y la Isla de los Pájaros o Fragatas.

Figura 10

Ubicación y características del estuario del río Chone



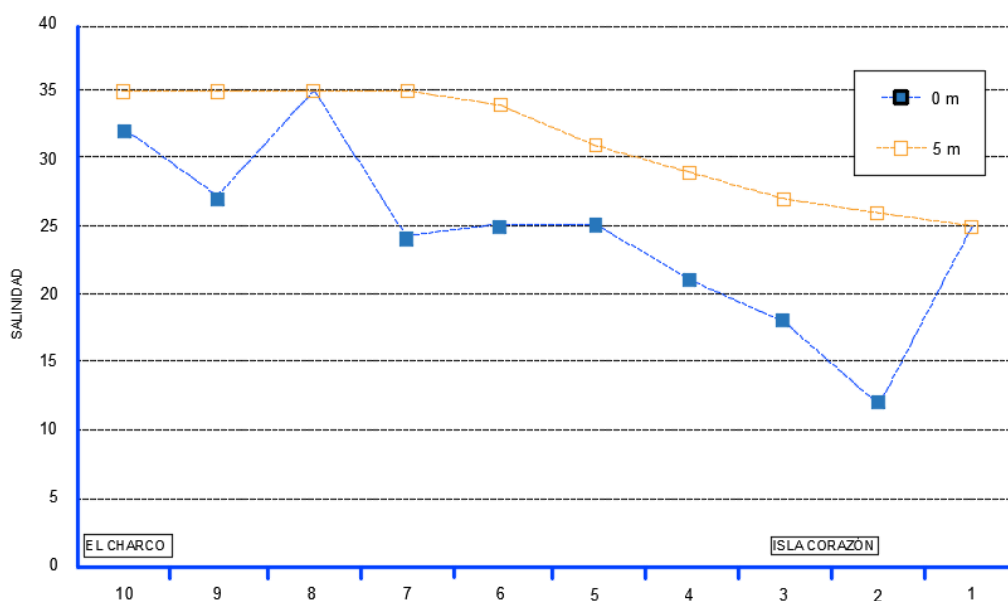
Nota: Tomado de programa de manejo de recursos costeros, 2006

En la Figura 12, se aprecia que, durante el invierno, a lo largo del estuario exterior, el agua superficial es menos salina que a cinco metros de profundidad.

(Trejos de Suescum, 1994)

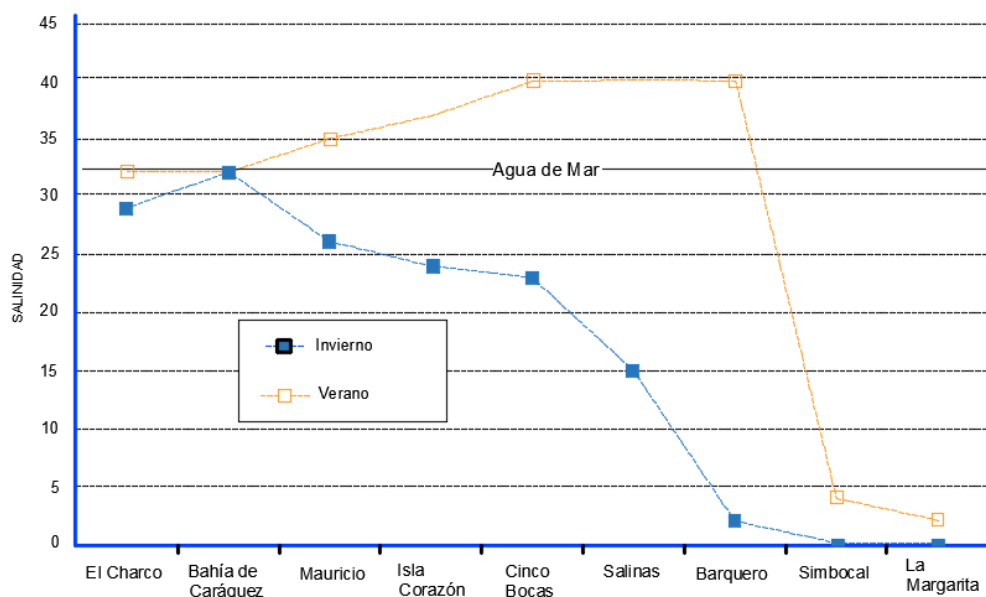
Figura 11

Agua en el estuario del Río Chone

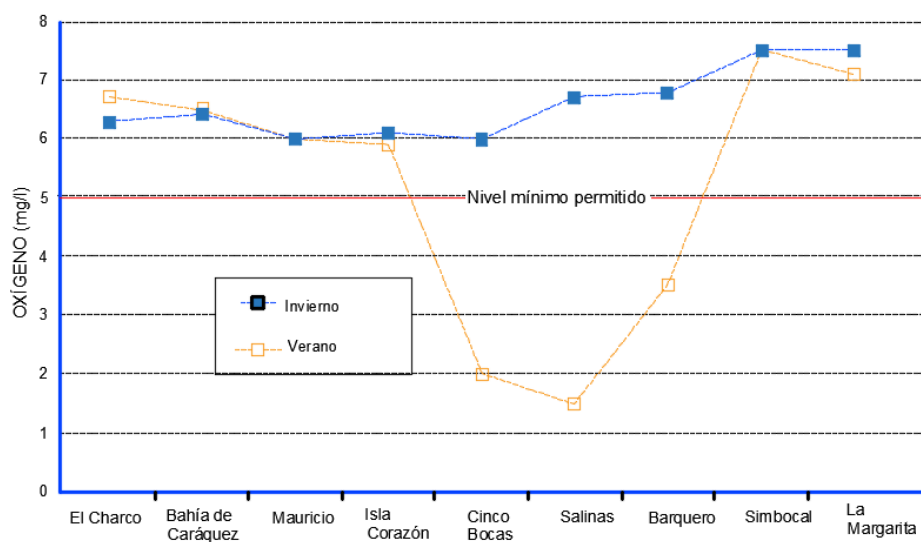


Nota: Tomado de programa de manejo de recursos costeros, 2006

En la Figura 12, se muestra la diferencia en perfiles de salinidad en invierno y verano. En el verano se concentra una masa de agua hipersalina (i.e., más salada que el agua de mar) en el área interior del estuario. En la Figura 13, se indica el nivel mínimo permitido de concentración oxígeno de acuerdo a la normativa ecuatoriana.

Figura 12*Diferencia de Perfiles en invierno y verano*

Nota: Tomado de programa de manejo de recursos costeros, 2006

Figura 13*Perfil de oxígeno en el estuario del Río Chone en invierno y verano*

Nota: Tomado de programa de manejo de recursos costeros, 2006

Características sedimentológicas de la desembocadura del Río Chone

Después de que ocurre la erosión tiene como consecuencia final la sedimentación. La sedimentación es el proceso en el cual se acumulan partículas de tierra o suelo en el fondo de los cuerpos de agua, haciendo que disminuya el espacio disponible para el almacenaje del agua en ríos, lagos y quebradas. Uno de los procesos de formación del suelo es la sedimentación. Esto ocurre cuando el agua de los ríos arrastra material sólido hasta los mares y estos al secarse dejan expuestos los componentes que a través del tiempo le fueron quitando al suelo en otras partes de su recorrido. La sedimentación envuelve tres procesos básicos: erosión o desprendimiento, transportación y deposición. Cada uno de estos procesos geológicos ha estado ocurriendo durante miles de años. Una vez iniciado el proceso de erosión, lo demás ocurre como consecuencia de éste. (González Toro, 2005)

El río Chone se estrecha por la presencia de una flecha de arena que crece en forma longitudinal y transversal, la ciudad de Bahía de Caráquez se asienta sobre esta flecha, que tiene aproximadamente 500 metros de ancho y se extiende 1km hacia el norte, existen bancos de sedimentación dentro y fuera del estuario, siendo los más notorios las Islas Fragata y de Los Pájaros, se presentan varios cordones litorales que separan los acantilados, y a su vez son interrumpidos por valles fluviales.

La playa de San Vicente es altamente erosiva, en la playa de Bahía de Caráquez existen dos muros de contención, que protegen el arco que hace la punta y el otro lado occidental de la costa (San Roque). (Agencia de los Estados Unidos de América para el desarrollo internacional (USAID), 1993)

Existen dos tipos de materiales sedimentarios: sedimentario arenoso y mezcla de sedientos (Soledispa & Santana, 1998). Sedimentario Arenoso, es una arena, mal clasificada a moderadamente bien clasificada, que presentan muestras entre 81 y 95% de dicho material, y el material restante en orden de abundancia está conformado por limo, grava y arcilla, ocupando las tres cuartas partes a excepción de la orilla del Río, frente a Bahía de Caráquez.

Según el diámetro medio ,permite apreciar que el tamaño del grano predominante es en la arena es el fino, el mismo que se ubica en el sector norte, centro y este del estuario, esta arena es acarreada del mar por las corrientes litorales, provenientes del sur, así como la marea de flujo, cabe destacar que los acantilados son sedimentarios, que se los convierte en inestables, fracturados y meteorizados , lo que permite que las olas socaven sus bases , que una vez erosionados los sedimentos son transportados por las fuertes corrientes, alimentando las flechas en las que estas se asientan, así como los bancos de arena ubicados en la entrada del estuario. (Soledispa & Santana, 1998). La Mezcla de sedimentos, se conforma principalmente por limo y arcilla, teniendo además pequeños porcentajes de grava y arcilla, localizándose en el área oeste del estuario en una franja paralela a la línea de costa frente a Bahía de Caráquez.

De acuerdo al diámetro medio, los sedimentos son arena muy fina y limo grueso, que son mal clasificados, debido a que están conformados por granos de diferentes tamaños, siendo asimétricos positivos por estar protegidos del fuerte oleaje, por la flecha, permitiendo la deposición de material fino (limo-arcilloso). (Soledispa & Santana, 1998). Los sedimentos de suspensión son bajos, tanto en la marea de flujo como en la de reflujo.

Calidad de agua del Río Chone

La calidad del agua se ha visto deteriorada por los asentamientos poblacionales que han hecho que estos cauces recepan descargas sin tratamiento de aguas servidas, la gran cantidad de basura que es depositada, y los lixiviados producto del uso de pesticidas. Los ríos de la región Costa del Ecuador se originan del deshielo de la Cordillera de los Andes. La cuenca Carrizal-Chone, también llamada cuenca Bahía, está servida por: Río Carrizal, con sus afluentes río Canuto, río Chico, Estero Tigra, río Severino, Estero Julián, río Bejuco, Estero Chorrillo, Mamey, Estero Zapote, río Canoas, río Barro, río Trueno, río Mosca, Estero Sarampión, río Junín y, río Bachillero.

Río Chone, con sus afluentes principales río Grande, río Mosquito, río Garrapata, y río San Lorenzo. Es el más importante de la provincia debido a su caudal en épocas de crecidas; nace en las faldas occidentales de la Cordillera de Balzar y desemboca en Bahía de Caráquez. Se ha convertido en un cauce seco por donde corre el agua en épocas de invierno, este río divide a la ciudad de Manta y desemboca en el mar.

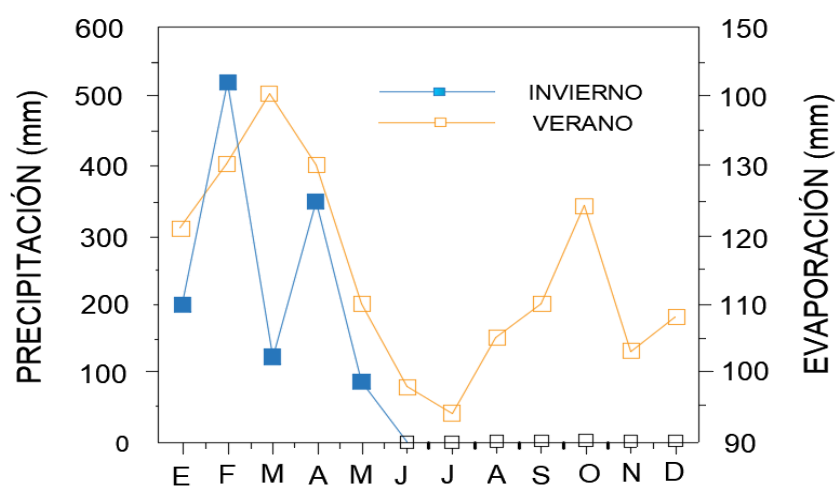
La cuenca baja del río Chone y su estuario que pertenece a la región geológica costanera, cuyo basamento y algunas unidades geológicas se formaron por efecto de la convergencia de las placas tectónicas. Esta zona está dentro de una intensa variabilidad de sinclinales y anticlinales, rodeado de relieves. Se denotan lluvias en enero hasta junio, mientras que el resto del año se observa su ausencia, como se muestra en la Figura 14.

El mes más lluvioso es febrero. De acuerdo a los reportes de las precipitaciones del Río Chone tenemos: Lluvia anual máxima es 1002 mm (1983)

fenómeno del Niño. Lluvia media interanual es 524 mm. Lluvia mínima anual es de 183 mm (en 1979). La relación máx./min. es 5,475.

Figura 14

Precipitación y evaporación en la estación la estancilla 2019



Nota: Tomado de INAMHI, 2013

La estación meteorológica e hidrométrica de la cual se obtuvo información pertinente para las características climáticas es la que se encuentra en las coordenadas Latitud Sur 00°35'48", Longitud W 80°24'16" a una altitud de 5 msnm, que pertenece a la DAC/INOCAR, que se identifica como la estación Bahía de Caráquez. La que ha medido los caudales que se detallan en la Tabla 2 y se detalla a continuación:

Tabla 2*Caudales*

Río	Caudal Mínimo (m ³ /s)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Caudal Medio (m ³ /s)
Chone	0,33	57,00	10,00
Carrizal	14,20	29,00	27,00
Carrizal-Chone	19,80	37,00	21,30

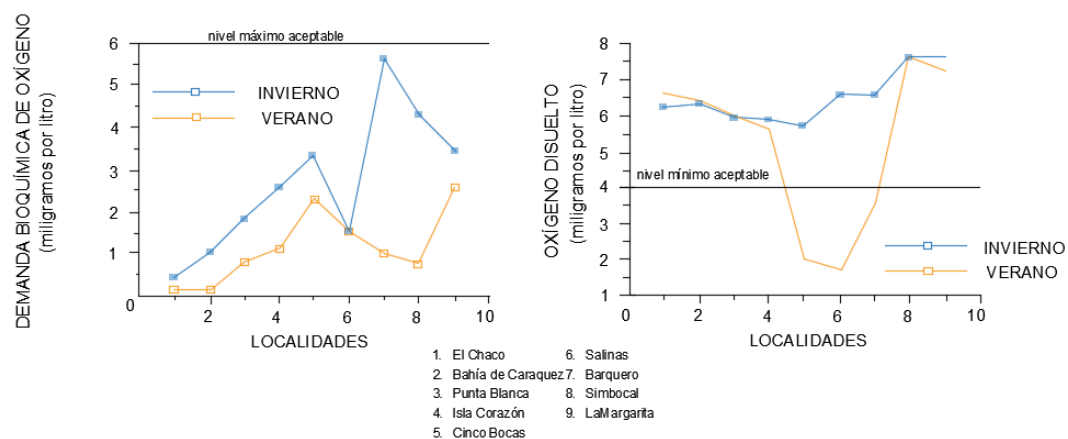
Nota: Tomado de INAMHI, 2013

Debido al desnivel entre el Río Chone y el mar, existe un constante flujo del agua salina que por la pleamar y bajamar genera presencia constante de agua en las pilas y un crecimiento por el aumento de caudal del río Chone, siendo este de 2000 m³/s aproximadamente. Los parámetros de análisis que se toman en cuenta son la determinación de cargas orgánicas como son oxígeno disuelto OD, demanda bioquímica de oxígeno DBO, demanda química de oxígeno, nitritos NO₂, nitratos NO₃, clorofila a, transparencia para caracterización del estado trófico.

En los embalses se tienen lecturas a diferentes profundidades (0, 2 y 10)m siguiendo las directrices dadas por organizaciones y autores, especializadas en determinar el estado trófico de las aguas. (Lee & Jones, 1981). Según registros obtenidos el estuario del río Chone en los registros de 2010 reflejan valores en pH de 7 -7 ,4, conductividad de 231 um/cm, temperatura de 29°C, oxígeno disuelto 7 ppm, DBO₅ de 2,96mg/l, DQO de 4,85 mg/l, fósforo 1,23 mg/l, nitrato 17,58 mg/l, nitrógeno de 32,9 mg/l y coliformes totales de 2 NMP/100. (Barahona Dos Santos & Tapia Ortega, 2010)

Figura 15

Demanda bioquímica de oxígeno y oxígeno disuelto



Nota: Tomado de Programa de Manejo de Recursos Costeros, 2006

Se debe notar que a mayor DBQO mayor proliferación de microorganismos y organismos. A mayor DQO (Oxígeno Disuelto) aumento de temperatura en el agua disminuye el pH y da lugar a un mejor o desfavorable ambiente para la vida marina.

Hormigón

La corrosión de las armaduras activas o pasivas en los puentes de hormigón suele ser la patología más frecuente que presentan este tipo de estructuras. Existen diferentes procesos de corrosión de las armaduras, la más frecuente es la corrosión por la carbonatación del hormigón, pero también se puede producir la corrosión de las armaduras por ataque por cloruros, sulfatos, álcali- sílice y corrosión bajo tensión se genera por la tensión en los elementos y la acción del ambiente que fisura y disgrega al hormigón, si bien ésta última resulta poco frecuente no resulta menos agresiva, estas patologías atacan el hormigón y posteriormente destruyen la armadura. El agua de mar descalcifica al hormigón mediante la colmatación de los

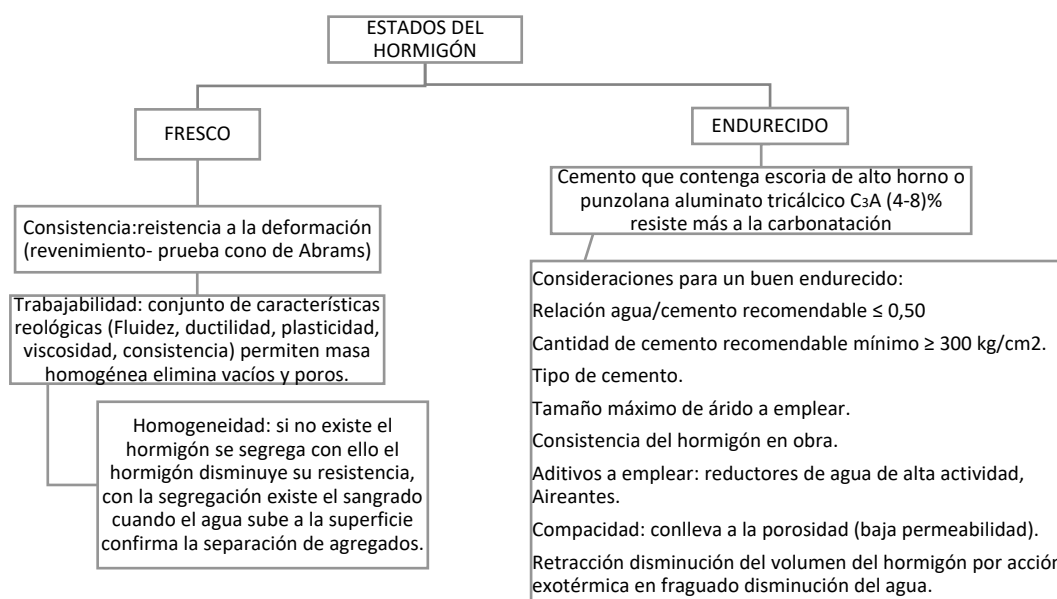
poros por el Hidróxido de Magnesio $MgOH_2$ y Sulfato de Calcio esto protege temporalmente al Hormigón al formarse una capa de reacción conocida como Carbonato de Calcio $CaCO_3$, pero finalmente lo va desgastando con el tiempo.

Estados del Hormigón

Se encuentra en dos estados, estos deben considerarse para su diseño y colocación para lograr con esto un mayor rendimiento y eficiencia:

Figura 16

Estados del hormigón



Factores que influyen en la corrosión de la armadura del hormigón armado.

Eliminación de la capa pasivada el pH del hormigón que esta entre 8,5 a 12,5 crea una capa que protege a la armadura de la corrosión pasivando al acero de la armadura. Bajo recubrimiento del Hormigón la relación de la velocidad de corrosión versus el espesor y la porosidad del recubrimiento es directa por ello se debe

considerar importante la resistencia del hormigón y los espesores de recubrimiento de la armadura.

Fisuramiento y la Porosidad desarrollan corrosión en la armadura y degradación en el hormigón por el paso de humedad y el paso de oxígeno a las armaduras reducción de la sección resistente del acero este comportamiento es típico en los elementos estructurales y con frecuencia requiere de cuantiosas reparaciones.

Tipos de fisuras. Fisuras Coincidentes están en la dirección de la armadura; propagan el inicio de la corrosión en las armaduras y si el dióxido de carbono, los cloruros y el oxígeno lo atacan, continua su progresión pueden aumentar la velocidad de propagación de la corrosión en la armadura.

Fisuras Transversales aumentan la velocidad de iniciación de la corrosión, pero en una forma menor ya que zonas catódicas aún no están fisuradas lo cual impide el paso de oxígeno y el paso de la humedad.

Fisuras durmientes son las aquellas que se originan en el fraguado y retracción del hormigón las cuales no tienen anchuras de gran tamaño, pero facilitan que existan los otros tipos ya sea por tensión, compresión, torsión, fatiga del hormigón o abrasión del ambiente.

Recubrimiento del hormigón.

El recubrimiento debe ser de una buena calidad para ser sometida en ambiente Marino, constituye el factor más importante para la protección de la armadura del hormigón su espesor corresponde a las especificaciones y normas vigentes.

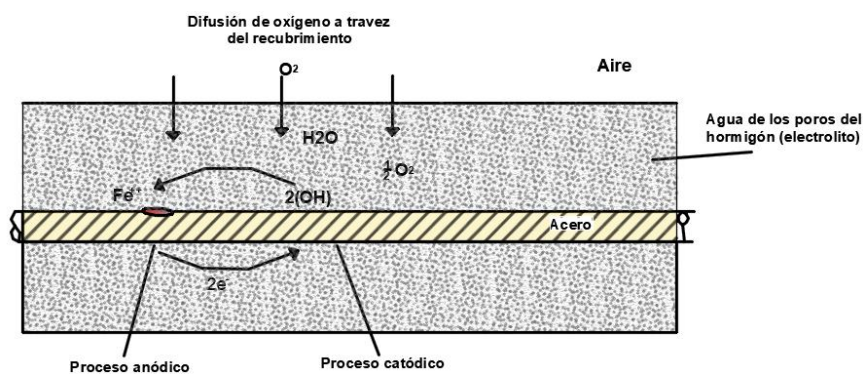
El principal daño que sufre el Hormigón Armado en ambientes marinos es el daño por corrosión que sufren las armaduras (velocidad de corrosión del acero en hormigón puede ser $0,1 \mu\text{m/año}$ pasivado y despasivado hasta 3 veces mayor), por diversos factores posteriormente detallados, para ello se hace necesario definir al deterioro del hormigón en dos períodos:

Iniciación corresponde al período en el que el ataque de cloruros penetra el recubrimiento llegando hasta las armaduras y las despasiva haciéndolas vulnerables a la corrosión.

Propagación el hormigón se fisura en todo el recubrimiento del acero quedando a la intemperie y dañándose permanentemente en forma agresiva.

Figura 17

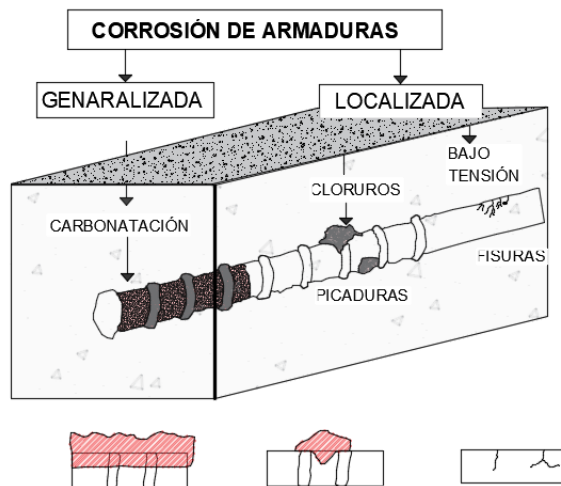
Corrosión de las armaduras en el hormigón.



Nota: Tomado de Odriozola, 2007

Figura 18

Tipos de corrosión de armaduras en el hormigón

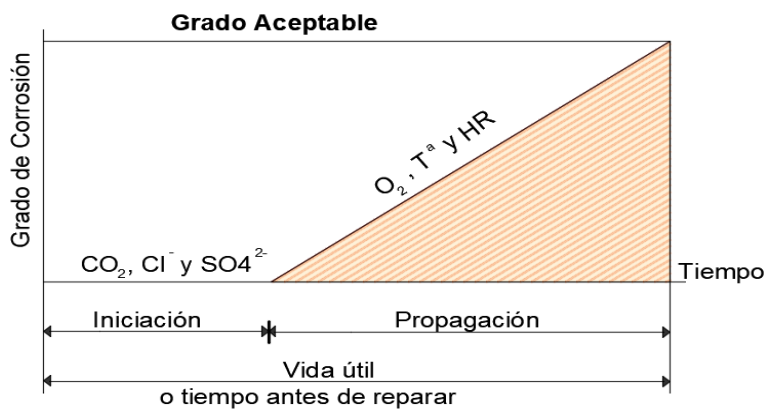


Nota: Tomado de Odrizola, 2007

El hormigón armado al ser parte de la mayoría de las estructuras en una construcción de cualquier debe ser controlado en todos los factores para prolongar el proceso de iniciación y limitar el periodo de propagación que es el más dañino.

Figura 19

Modelo simplificado del proceso de deterioro por corrosión de las armaduras.



Nota: Tomado de Odrizola, 2007

Las zonas de mayor deterioro en el hormigón.

Zona sumergida. De acuerdo a la profundidad el aumento de presión permite que ingrese el agua de mar hacia la armadura y en contacto con el agua por absorción y acción de la permeabilidad del hormigón, los agentes contaminantes pueden penetrar fácilmente hasta la armadura dependiendo de la porosidad del hormigón, para que la corrosión progrese debe existir la cantidad de oxígeno adecuada que haga la corrosión dañina por el contrario esta puede tornarse una corrosión verde o negra que no es mayormente destructiva para el elemento.

Zona de mareas. El hormigón constantemente se encuentra húmedo los agentes contaminantes se propagan por difusión hasta llegar a la armadura.

Zona de salpicaduras. Los agentes contaminantes entran por succión capilar inicialmente y una vez saturado el hormigón penetran por difusión causando serios daños a la armadura. (Odrizola, 2007).

Las algas también suponen acciones degradantes para el hormigón por acción de los sulfatos y ácidos orgánicos producto de su descomposición, así como los organismos incrustantes los cuales pueden ocasionar un incremento de la velocidad de erosión del hormigón hasta en 1 cm por año lo cual establece

Las formas de dosificación, compactación, curado, falta de recubrimiento, juntas mal diseñadas, la microfisuración por la sollicitación de las cargas, la retracción térmica o de secado y la reacción álcali-árido pueden ser factores que converjan en el debilitamiento y daño rápido de las estructuras de hormigón en ambiente marino, por ello Noruega para el año 2018 entre los controles ejecutados a estructuras de hormigón armado en estos ambientes regula la permeabilidad máxima en $K \leq 10^{-12}$

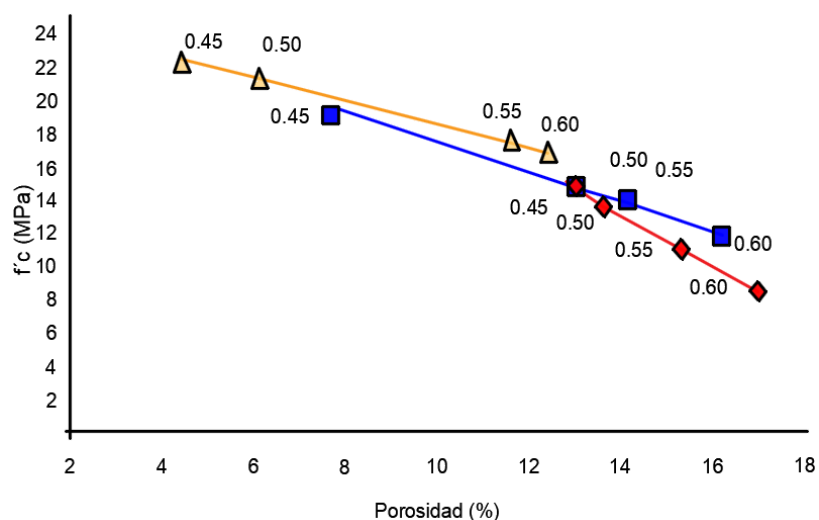
m/s, por esta razón se debe mejorar la permeabilidad del hormigón como una clave para la durabilidad de este. (Odrizola, 2007).

Los procesos que degradan mayoritariamente al hormigón en presencia de agua salina, son los cloruros, el oxígeno y la carbonatación. La porosidad y absorción también influyen en el deterioro del hormigón, ya que al fraguar canaliza la evaporación del agua a través de los canales capilares, la reacción entre el cemento y el agua por reacción química provoca una reducción en la pasta que se forma conforme esta se fragua y la porosidad de los agregados son factores que indican que el hormigón es un elemento poroso. Por ello la porosidad en el hormigón está definida por el volumen total de los vacíos que se forman en el hormigón endurecido, este factor es de suma importancia ya que por estos sistemas porosos el hormigón absorbe agua y permite que fluyan el agua en los elementos estructurales y condicionan la durabilidad y resistencia de este. Existe dos tipos de porosidad la abierta (los poros están comunicados tanto interior como exteriormente y permiten el flujo de sustancias disueltas al interior como el medio ambiente) y porosidad cerrada (los poros están aislados dentro del hormigón endurecido).

Según investigaciones se concluye que a mayor valor de la relación a/c mayor porosidad, también se establece que a menor porosidad existe mayor resistencia a la compresión del hormigón. Lo mencionado corresponde a estudios e investigaciones que a su vez aún son debatidas por las diversas variables que intervienen en la elaboración de hormigón para los elementos estructurales, para el presente estudio nos servirá para proporcionarnos una guía y constatar el estado del hormigón analizado.

Figura 20

Resistencia al hormigón con respecto al porcentaje de porosidad



Nota: Tomado de Luz Amparo Quintero Ortíz; Julian Herrera; 2010

Factores que influyen en la degradación del hormigón

Degradación por iones de cloruro. Se manifiesta cuando los iones paulatinamente penetran por los poros del hormigón hasta que alcanzan la superficie de la armadura así dañan la armadura con corrosión y se produce la falla del elemento de hormigón armado, esta se produce en forma localizada en el elemento. Para esto existe parámetros en porcentaje que permiten determinar la agresividad de cloruros en el medio si existe: < 0,4 % despreciable, 0,4%-1% posible, 1%-2% probable y si es >2% significativa, para comprender la asociación química de los elementos con cloruros se detalla:

Acción del Cloruro: $MgCl_2$

$Mg^{2+} \rightarrow Ca^{2+}$ (sustitución)

Acción del Cloruro: $MgCl_2$ =Cloruro de Magnesio

Mg^{2+} : Ca^{2+} (sustitución)

$MgCl_2 + Ca(OH)_2$: $CaCl_2 + Mg(OH)_2$

Cloruro de Magnesio + Hidróxido de Calcio: Cloruro de Calcio + Hidróxido de Magnesio

REZUMA/(soluble) FORMA COSTRA/(precipitado)

Acción del Cloruro de Calcio $CaCl_2$

$CaCl_2 + C_3A + 10H_2O$

Cloruro de Calcio + Aluminio Tricálcico + Agua

$C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$

Monocloruro Aluminato de Calcio Hidratado

EXPANDE

+ SO_4^{2-} (anión Sulfato)

$C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (Estringita)

EXPANDE

+ CO_2 + SiO_2

Anhídrido Carbónico + Oxido de Silicio

$CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot CaSiO_3 \cdot 15H_2O$ (Taumasita)

EXPANDE

(Abascal, 2013)

Existe dos estados de los cloruros: El cloruro libre es el que esta disuelto en el agua y penetra hasta la armadura y produce corrosión, el cloruro ligado el cual está pegado al hormigón, pero no puede penetrar al interior, el cloruro total es la suma del ligado más el libre este término se usa para los límites del cloruro que establecen las normas.

El anión cloruro se une a través de procesos físicos y químicos la penetración en el hormigón (por permeabilidad, por capilaridad, por absorción y por difusión), depende de diversas variables entre las cuales están: el contenido de aluminato tricálcico debe ser limitado ya que la fijación de cloruros depende directamente de la

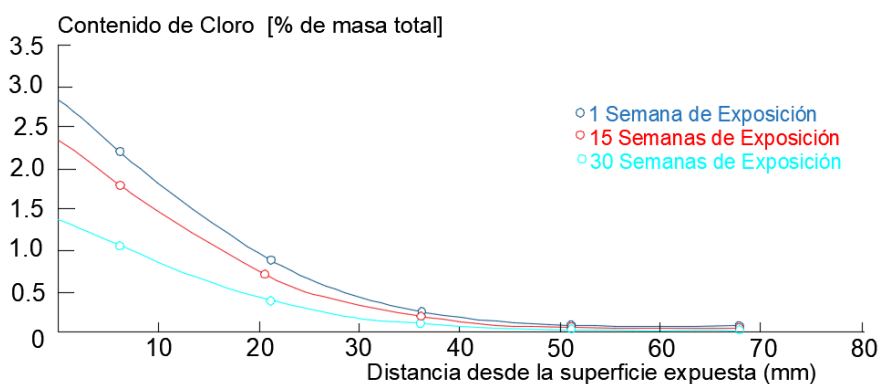
proporción del aluminato tricálcico (C3A) este no debe ser menor al 4% ni mayor a 10 % para que proteja adecuadamente a la armadura.

De acuerdo al contenido de Cemento se reduce la difusión de cloruros así para cementos cuya mezcla es 350 kg/m³ con una relación a/c de 0,4 la difusión de cloruros oscila en $8,28 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ y para una mezcla es 400 Kg/m³, con una relación a/c de 0,4 la difusión de cloruros oscila en $7,63 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$, se debe notar que si la relación a/c es menor también la difusión de cloruros. Si la HR es > al 60 %, los cloruros y dióxido de carbono puede penetrar más fácilmente a través de fisuras o en elementos saturados. El hormigón armado tiene características de fragilidad por sus componentes y cuando más frágil genera mayor cantidad de micro fisuras y estas a su vez se conectan con las macro fisuras pueden facilitar la corrosión de la armadura cuando el transporte de cloruros se hace mayormente por la permeabilidad del agua más no por difusión en el material con cemento portland normal OCP, la difusión de cloruros es de $4,47 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$, con cemento con 30 % de cenizas volantes OPC/30% PFA, corresponde a $1,47 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$, cementos con 65% de cenizas volantes OCP/65% PFA $0,41 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ y con cementos resistentes a sulfatos SRPC corresponde a $10 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$. Para la compactación del hormigón se establece que si esta es mayor la difusión de cloruros es menor para un valor de compactación de 100 su correspondiente valor en difusión corresponde a $2,183 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ y para 60 en compactación un valor de 3,436 en difusión de cloruro. El tiempo de curado es fundamental a mayor tiempo de curado menor difusión de cloruros para un período de curado de 3 días la difusión de cloruros alcanza $2,25 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ mientras que para un curado de 28 días corresponde a $0,07 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ lo que permite establecer condiciones ideales para mejorar las

condiciones del hormigón ante la exposición a cloruros. Difusión de cloruros (ODRIOZOLA, 2007)

Figura 21

Contenido de cloro en relación a la distancia superficial expuesta

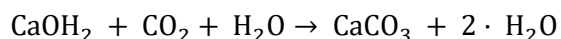


Nota: Tomado de Odrizola, 2007

Perfiles de cloruros obtenidos en probetas de hormigón sumergidas durante 8 años, en función del tiempo de curado (1, 4 y 14 semanas). (Odrizola, 2007). En el proceso químico el Aluminato Tricálcico es el responsable de la unión de los aniones de cloruro con ello se forma la “sal de Friedel” (cloroaluminato tricálcico hidratado). Por otro lado, en las varillas que conforman el hormigón armado como tal se producen trazas de manganeso del acero, así como Cloruro de Hierro (FeCl_3) y Cloruro de Manganeso (MnCl_4).

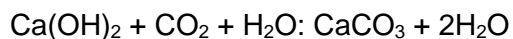
En el proceso físico, el cloruro se adhiere al hormigón mediante el fenómeno de adsorción (cuando un sólido retiene un cuerpo disuelto), el sólido responsable de la adsorción es el gel CHS (silicato cálcico hidratado o silicato de calcio hidratado) el cual da lugar a la adsorción de los cloruros. Los límites de cloruros totales aceptables que establece la normativa son hasta 0,4% en peso para Hormigón armado y 0,2% para Hormigón pretensado.

Degradación por carbonatación. Se establece al nivel de penetración que tiene el dióxido de carbono existente en el ambiente CO_2 en el hormigón, esto ocurre debido a la reacción del hidróxido de carbono COH con el hidróxido de calcio CaOH_2 que forman el carbonato de calcio CaCO_3 que inicialmente es protector y luego va dañando al hormigón desintegrándolo y disgregándolo en sus componentes.



Estas reacciones químicas se dan en presencia de agua y origina el compuesto insoluble, la reacción altera el pH del hormigón reduce a valores menores a 9, esto hace perder las propiedades de resistencia a la compresión del hormigón y además de perder confinamiento en los elementos expuestos más aún si alcanza la armadura puede originar corrosión en forma inmediata.

Acción del Carbono: CO_2 Dióxido de Carbono



Hidróxido de Calcio + Dióxido de Carbono+ Agua: Carbonato de Calcio + Agua

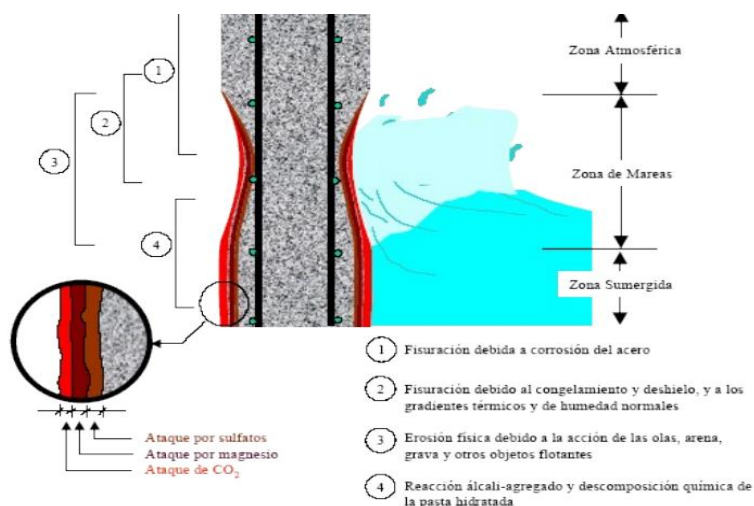
Precipitado Argonita y Calcita (FORMAN COSTRA)

(Abascal, 2013)

La carbonatación se puede minimizar mediante: realcalinización sin corriente eléctrica (mediante el mortero de cemento se puede disminuir el avance del desgaste cuando este no alcance profundidades entre (1-2) cm. Realcalinización con corriente eléctrica (este método actúa más rápidamente, pero es discutida su eficiencia por costos y duración consiste en la aplicación de corriente al elemento el pH alcanza hasta 9-10 pero no restaura los valores habituales del hormigón.

Figura 22

Esquema del ataque del agua de mar sobre un pilar sumergido



Nota: Tomado de Odrizola, 2007, pag 146.

Degradación por sulfatos. Cuando existe presencia de organismos marinos existe también una degradación del hormigón por la acción de sulfatos y ácidos orgánicos que tanto algas como organismos micro y macro encostrantes pueden llegar a tener en su descomposición o proceso biológico. El daño por sulfatos se presenta en hormigones endurecidos donde existe penetración de estos produciendo etringita que expande al hormigón y provoca su fisura, desprendimiento y degradación lo que lo hace más susceptible a pérdida de sección y resistencia.

Acción del Sulfato: $MgSO_4$ Sulfato de Magnesio

Mg: Ca (sustitución)

$MgSO_4 + Ca(OH)_2$: $CaSO_4 + Mg(OH)_2$

Sulfato de Magnesio+ Hidróxido de Calcio: Sulfato de Calcio + Hidróxido de Magnesio

EL sulfato de Magnesio, Puede ser soluble (REZUMA) y eso es Secundario (EXPANDE)

Precipitado (FORMA COSTRA)

Acción del Yeso Secundario

$CaSO_4 + C_3A + 32H_2O$: $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$

Sulfato de Calcio + Aluminio Tricálcico + Agua: Aluminio Tricálcico+ Sulfato de Calcio + Agua

(Abascal, 2013)

Reacción álcali-árido ASR. Áridos silíceos reactivos, conocido como el cáncer de hormigón consiste en la formación de un gel silíceo alcalino a causa de la descomposición de los álcalis que se depositan en los poros del hormigón y toman contacto con áridos reactivos (áridos finos y gruesos que contienen partículas de sílice reactivas), el gel reacciona con la cal del cemento y forma un nuevo gel que absorbe mayor cantidad de agua lo que causa fisuras en el hormigón por su gran capacidad de hinchamiento estas se ensanchan y permiten el ingreso a mayor cantidad de agua de mar lo que puede agravar en forma súbita la degradación del hormigón.

Degradación por Oxígeno. Cuando el oxígeno actúa mayoritariamente el daño en el hormigón se da por la expansión luego fisuración y finalmente el

desprendimiento del recubrimiento, pero el daño mayor se refleja en la poca adherencia entre el hormigón y el acero lo cual le podría hacer fallar a la estructura. Cuando la armadura se oxida aumenta su tamaño provocando la acción de fuerzas expansivas y el desprendimiento del hormigón, reducción transversal de la armadura y con ello la disminución de la resistencia mecánica del acero.

La degradación del hormigón en ambiente salino obedece a un sin número de parámetros y características como el ambiente, la humedad, condiciones del material, la cercanía a el agua de mar, etc., factores que deterioran al hormigón paulatinamente; estos ataques pueden actuar en forma conjunta o aislada y al final reflejan la velocidad de degradación del hormigón; los factores que conllevan a un mayor margen de degradación son: composición del árido, estructura del mineral, granulometría, cemento utilizado, humedad, temperatura de curado y puesta en obra, granulometría, cemento la cantidad de álcalis, concentración del sulfato y naturaleza del sulfato. Para mejorar las condiciones del hormigón a mayor severidad debe existir el correspondiente aumento de cantidad de cemento y la disminución de la relación agua cemento a valores óptimamente menores de 0,4 y menores. Para elementos de hormigón expuestos directamente en agua de mar existe evidencia de la velocidad con que el hormigón se degrada teniendo para: zona sumergida en el lecho marino al nivel 0,01 mm/año, zona sumergida con agua en constante movimiento 0,08 mm/año, zona sumergida agua en movimiento 0,05 mm/año, parte inferior de la zona de mareas 0,20 mm/año, zona de mareas 0,09 mm/año, zona de salpicaduras 0,14 mm/año y zona atmosférica 0,10 mm/año. (ODRIOZOLA, 2007)

Ensayos a realizarse en las muestras de hormigón

Porosidad y absorción. La permeabilidad está relacionada con la porosidad esta puede ser de tres tipos en el hormigón: porosidad total (poros abiertos y cerrados del hormigón), porosidad abierta (tiene conexión entre poros y estos con la superficie) y porosidad cerrada (están encerrados dentro del volumen de hormigón). La porosidad en el hormigón es un fenómeno intrínseco e inevitable un hormigón mayormente poroso resulta ineficiente para contrarrestar la degradación por diversos factores y esto hace que su resistencia baje apreciablemente.

Tamaño del poro $> 50\text{nm}$ \Longrightarrow Influencia en la resistencia y permeabilidad

Tamaño del poro $< 50\text{nm}$ \Longrightarrow Influencia en la retracción

Para establecer el peso húmedo de la muestra y completamente sumergido se hace necesario el empleo de una balanza electrostática de peso sumergido la cual debe estar adecuadamente encerada cada vez que se toma el peso de cada muestra.

Figura 23

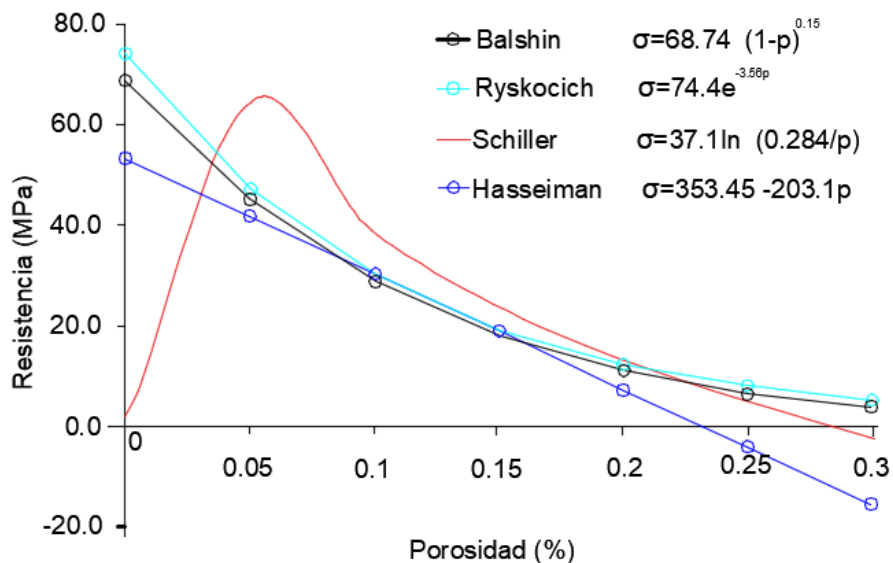
Balanza electrostática de peso sumergido



Nota: Tomado de CONECTO.CL

Figura 24

Relación entre porosidad y resistencia

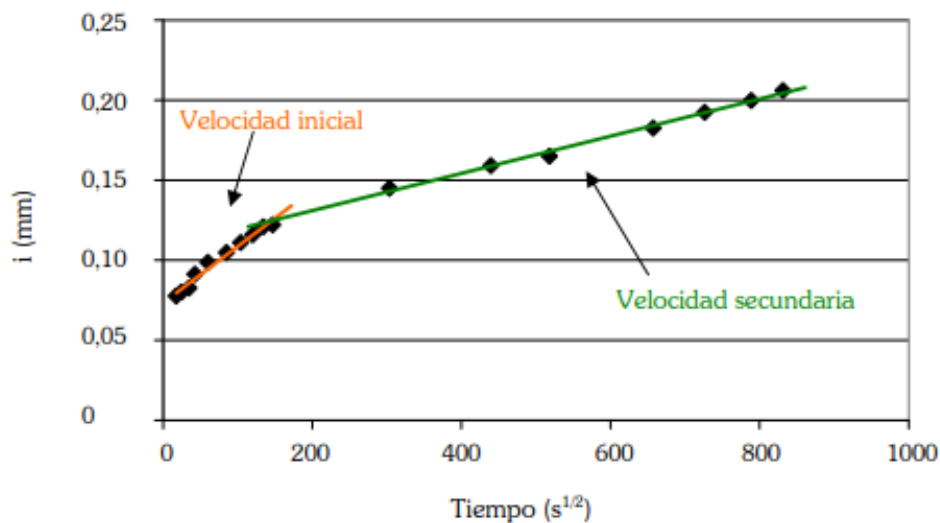


Nota: Tomado de Odrizola, 2007

Absorción. Es el movimiento de los líquidos dentro del hormigón a través de los poros y conductos capilares del hormigón los cuales pueden dar el valor de la velocidad de penetración de líquidos, como la masa de líquido requerida para saturar al hormigón para ello se emplea el test de absorción superficial.

Figura 25

Esquema del Cálculo de la Velocidad de Absorción Inicial y Secundaria



Nota: Tomado de ASTM C 1585

Carbonatación con empleo de fenolftaleína ASTM C 114.

Uno de los principales daños que pueden presentar las estructuras de hormigón armado es la degradación del hormigón por carbonatación que provoca la pérdida de las características del hormigón (corrosión de armaduras, pérdida de sección, disminución de la resistencia del hormigón) por la acción del CO_2 atmosférico.

La profundidad carbonatada se define por el tiempo de exposición y por la porosidad del hormigón que a su vez está directamente relacionada con la permeabilidad del hormigón. Para que exista carbonatación debe existir humedad esta debe estar en el rango entre 60% y 75%. Para la aplicación de la fenolftaleína se debe procurar rociar una capa fina sobre el hormigón este no debe estar húmedo ni mojado para evitar resultados errados, también se debe establecer un tiempo no

mayor a 30 minutos para realizar las mediciones en los bordes que han estado expuestos al medio ambiente para poder apreciar la profundidad que se encuentra carbonatada (dk) media de las profundidades obtenidas.

Tabla 3

Visibilidad de la carbonatación con fenolftaleína




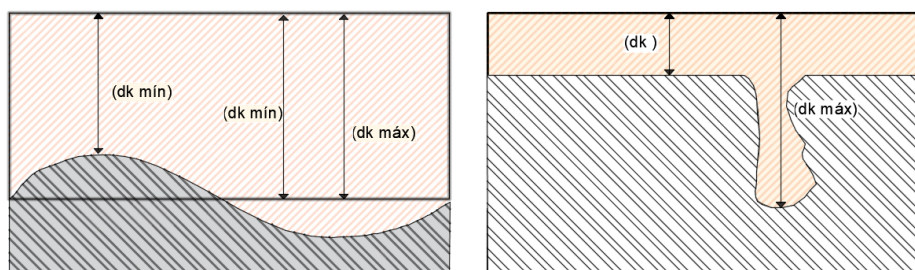
ESPECIES	Fenolftaleína			
pH	<0	0-8,2	8,2-9,8	9,8-12,0
Condiciones	Fuertemente ácidas	Ácidas o Neutras	Básicas	Fuertemente Básicas
Color	Naranja	Incoloro	Rosa	Rosa
Imagen				

Figura 26

Carbonatación de forma irregular y singular



Nota: Tomado de UNE112011

Medición de Ph del hormigón ASTM D4262. Los métodos para determinar la alcalinidad del hormigón resultan variados la normativa ASTM D4262 establece el empleo de un pHmetro para realizar la medición del pH a las muestras de hormigón en forma representativa que permita establecer si esta se encuentra en los rangos adecuados pH (8,5-12,5) para confirmar o descartar la carbonatación del hormigón y

la alteración de la alcalinidad que se pudiere presentar en periodos largos de exposición a condiciones adversas. El pHmetro permite determinar con una gran precisión el potencial de ion hidrógeno al indicarnos en un medio acuoso su alcalinidad o acidez, consta de dos sondas que permiten introducirse en la solución a medir, determinan el voltaje entre electrodos y lo transforman a valor de pH (potencial electroquímico) su fórmula es: $pH = -\log_{10}[a_{H^+}]$.

Figura 27

Niveles de PH



Nota: Tomado de SIGNIFICADOS, 2007

Figura 28.

Phmetro



Compresión (ASTM C42 y ASTM C39). Es método directo el cual permite determinar la resistencia del hormigón a la compresión, es de las propiedades más importantes ya que permiten mantener un control de las estructuras bajo las sollicitaciones de carga establecidas y superarlas para mantener las condiciones de diseño de cada elemento. Para el muestreo resulta más verdadero el valor que se

obtiene con la extracción de testigos a los realizados con los cilindros de laboratorio aún más cuando estos se hallan por determinado periodo actuando en los diferentes elementos de la obra. El ensayo permite establecer parámetros importantes como: el deterioro de la estructura por diversos factores (intemperie, reacciones químicas, fatiga sobrecarga), la calidad del hormigón en la estructura y la capacidad portante de la estructura. (Henaó, 2012). Variaciones que pueden influir en los resultados del ensayo:

La dirección de hormigonado con la dirección de extracción de los testigos, diámetro del testigo, humedad en las muestras para el ensayo, la existencia de armadura en los testigos, la edad del testigo, la esbeltez de la probeta, fracturación o daño en los testigos en su extracción, las irregularidades en las superficies de las muestras.

La máquina a emplear esta debe estar debidamente certificada calibrada para que no exista variación en gran porcentaje en los resultados que se obtengan con una regulación en la progresión de la carga que permita ejercer una fuerza de progresión constante (presión constante de $5 \pm 2 \text{ kgf/cm}^2/\text{s}$), las caras de presión son dos platos cuya dureza no debe ser inferior a 55 HRC (Ensayo de Dureza Rockwell para acero de alta resistencia). El diámetro de cada plato debe superar en por lo menos 3% el diámetro de las probetas, espesor mínimo de cada plato debe ser $\geq 25\text{mm}$. Para la lectura de las cargas debe realizarse con una precisión de 1% como mínimo del resultado real con la máquina adecuadamente calibrada. Dentro del panel

se debe mostrar la carga máxima a la cual se produce la falla, como resultado del ensayo se obtiene el valor de resistencia a la compresión del hormigón en kgf/cm^2 .

Nota: Topoequipos.com

Acero

Corrosión del acero

La herrumbre es un término empleado para indicar la existencia de productos

Figura 29

Cilindro y máquina de compresión



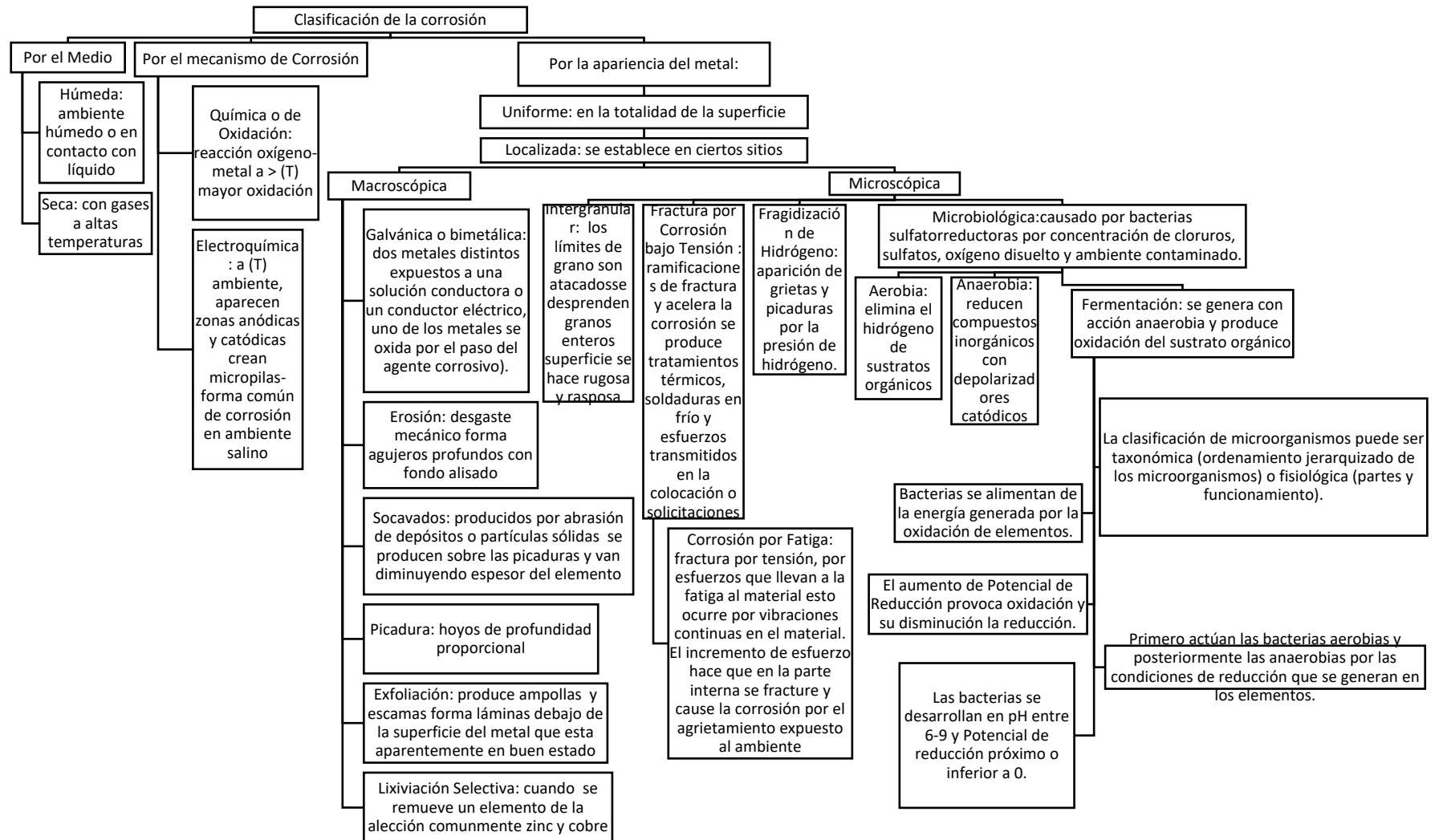
de corrosión los cuales forman una capa en la superficie del acero debido a la acción del ambiente o la humedad. (Ocaña, 2012). La corrosión es un deterioro lento y paulatino del acero/metal por agentes externos (agua de mar, atmósfera, aire húmedo, vapores ácidos, ácidos orgánicos y organismos incrustantes) que provocan reacciones químicas y electroquímicas, estas modifican esencialmente sus propiedades físicas, químicas y mecánicas lo cual disminuye drásticamente el período de uso para el cual fue diseñado, esto imposibilita para resistir las sollicitaciones de carga, así como su desempeño.

Fundamentos de corrosión. En el mundo únicamente los metales nobles existen en estado puro, esto hace que todos los elementos químicos se encuentran combinados y forman compuestos, que se encuentran en la naturaleza ya sea como sulfuros u óxidos etc. Para el caso del hierro este se encuentra en forma de óxido en la naturaleza y para obtenerlo en estado puro se lo somete a una separación de minerales con el empleo de gran cantidad de energía, como mineral el hierro se encuentra en la hematita Fe_2O_3 , como parte de la corteza terrestre, por tanto se puede establecer que para que un acero se oxide es debido a su composición química, a mayor energía para producir acero (proceso metalúrgico) este tenderá a regresar a su condición normal de hierro lo cual provoca oxidación, la fuerza conductora para formar óxido en un metal es la existencia de este en forma combinada (oxidada). A mayor potencial de oxidación mayor energía se requiere para transformar los minerales en metales y cuando un metal es más electropositivo menor es su potencial de oxidación. Cuando un elemento metálico se comporta como ánodo es más propenso a los factores que contribuyen una mayor oxidación. (Andrea, 2016).

Clasificación de la corrosión.

Figura 30

Clasificación de la corrosión



Corrosión por picadura o pitting. Su proceso es lento y paulatino requiere años para notarse en aceros de alta resistencia, daña poco a poco la totalidad del metal con hoyos de profundidad proporcionales al nivel de abrasión, se forma en lugares donde la película protectora es discontinua o se encuentra rota, en el interior de la picadura se contienen sales hidrolizadas muy ácidas que corroen más rápido el acero, también es conocido que se forman ánodos en la picadura y la superficie circundante actúa como cátodo lo que permite continuar la corrosión a mayor profundidad. La velocidad con que penetran las picaduras es fundamental considerando el espesor del acero la cual a medida que pasa el tiempo se dice se vuelve más lento, la velocidad disminuye si el número de las picaduras se incrementa porque las picaduras adyacentes deben compartir la superficie catódica de su alrededor lo que hace que la corriente de corrosión se divida más entre las picaduras y sea menos abrasivo. (Reibán, 2014)

Las picaduras presentan las siguientes etapas: Iniciación, surgen las pequeñas fallas de la película protectora por diversos factores, organismos encostrantes, materia orgánica, velocidades de flujo, abrasión por arena o sedimentos y desechos orgánicos; al inicio es difícil notar picaduras están empiezan a nuclearse, pero cuando inicia las picaduras invaden rápidamente las superficies. Propagación, las picaduras crecen por el medio que se genera internamente en la picadura misma y por la diferencia de potencia entre ánodo y cátodo lo que hace que exista mayor cantidad de picaduras. Terminación, pueden detenerse cuando internamente se forma una película en el cátodo aumentando la resistencia interna a ello se denomina picadura seca. Reiniciación, cuando hay aireación en la cavidad de la picadura y al contacto permanente con un electrolito agua salada las condiciones se reinician dando lugar al incremento de picaduras.

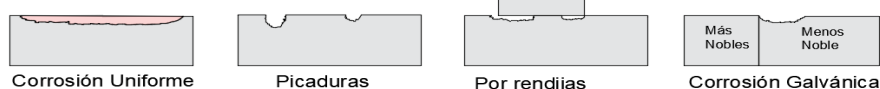
Medición de las picaduras. Una de las formas de medir es adaptar una aguja al micrómetro luego encerarla en la superficie del acero e introducirla para medir la parte más profunda, el inconveniente es medir picaduras estrechas y profundas. Otra forma es realizar un corte de sección metalográfica selecciona una sección de acero en donde se realiza la estimación, el inconveniente es que no refleje la picadura más profunda.

También se puede apreciar su microscopía midiendo la diferencia entre la superficie intacta y la parte más profunda con el empleo de una rejilla graduada que permite medir la profundidad. Otra forma también es por rebajado mecánico es más exacto para definir con exactitud la profundidad real a la cual ha llegado la picadura, consiste en pulir el acero hasta llegar a notar la superficie totalmente lisa. La picadura puede obedecer a diversas causas entre las más relevantes al presente estudio están: Picaduras por fallos en revestimientos y por causa de la aireación diferencial

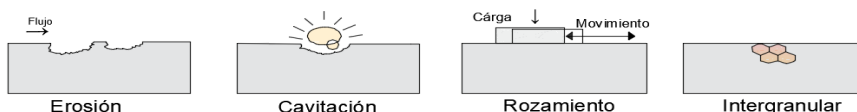
Figura 31

Clasificación gráfica de la corrosión.

I. Identificación Visual



II. Identificables con herramientas



III. Identificación por empleo de microscopio

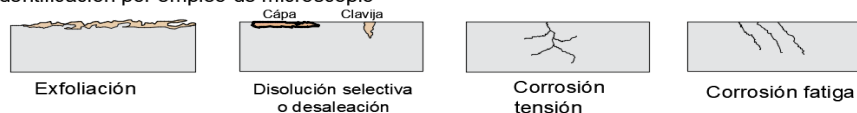
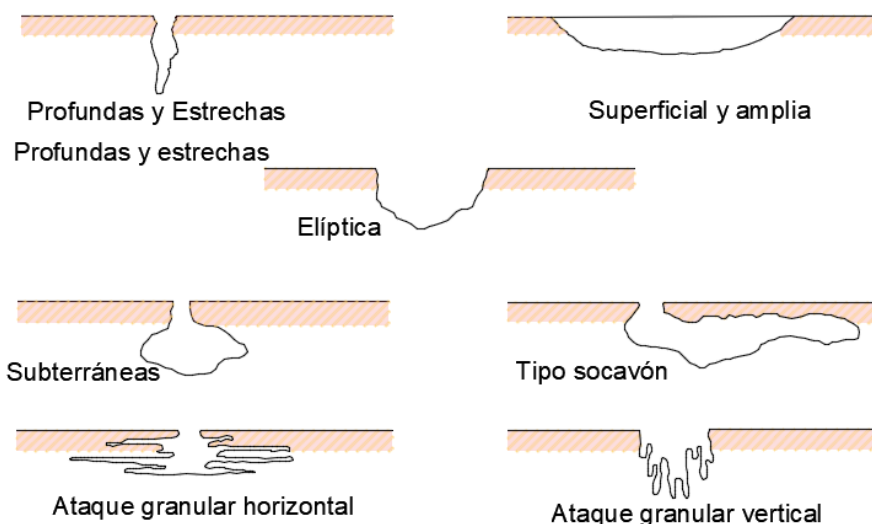


Figura 32

Tipos de corrosión por picadura.



Corrosión del acero en estructuras marinas. Es importante tomar en cuenta la importancia que reviste las obras que se ejecutan en ambientes marinos y más aún si estas contribuyen a la movilidad en una carretera ya sea como un puente o un muelle cuyo funcionamiento representa un alto valor económico y un punto crítico de desarrollo, estas estructuras se someten a una mayor corrosividad por el ambiente marino, las estructuras que poseen dentro de sus elementos de la Estructura y Subestructura aceros se debe notar que se hallan sometidos a una mayor degradación con el paso de los años. (Andrea, 2016). Existen factores Químicos, físicos y biológicos que influyen en la degradación del Acero los cuales se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4

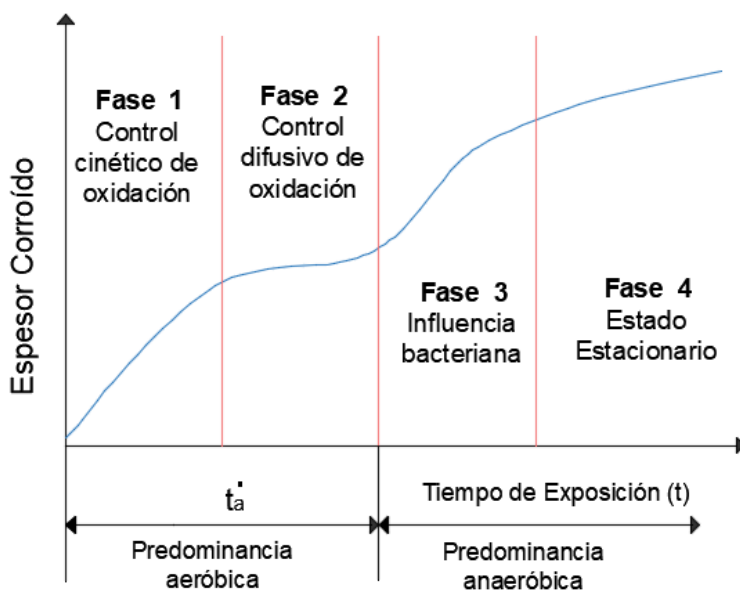
Factores influyentes en la corrosión de pilotes en puertos, puentes.

FACTORES QUÍMICOS	FACTORES FÍSICOS	FACTORES BIOLÓGICOS
<p>GASES DISUELTOS: Oxígeno Dióxido de Carbono</p> <p>EQUILIBRIO QUÍMICO: Salinidad pH Solubilidad del Carbono</p>	<p>VELOCIDAD: con mayor velocidad en el electrolito se da una mayor corrosión por cavitación o corrosión por erosión, con velocidad baja disminuye la velocidad de corrosión, pero se forman picaduras, a menor velocidad mayor concentración de biocorrosión. Burbujas de Aire o gas Cieno Suspendido</p> <p>TEMPERATURA a mayor temperatura mayor velocidad en reacciones químicas</p> <p>PRESIÓN cuando aumenta también los gases (CO₂, H₂S, O₂) y con ello la velocidad de corrosión</p>	<p>BIO- INCRUSTACIONES: De Coraza Dura Sin Coraza Dura Móviles y Semi-móviles</p> <p>VIDA VEGETAL: Generación de Oxígeno Consumo de Dióxido de Carbono</p> <p>VIDA ANIMAL: Consumo de Oxígeno Generación de Dióxido de Carbono</p>

Nota: Tomado de Perez, 2009

Figura 33

Relación del espesor y tiempo de exposición



Nota: Tomado de Scielo, s.f.

Aceros autoprotectores

Los aceros con autoprotectores de corrosión han mejorado la durabilidad de las obras civiles los cuales menoran notablemente la velocidad de corrosión estos presentan su accionar anticorrosivo al crear una capa que se oxida prematuramente (pátina) y a la vez protege para que se deterioren las capas internas y así evitar que disminuyan los espesores de los elementos estructurales.

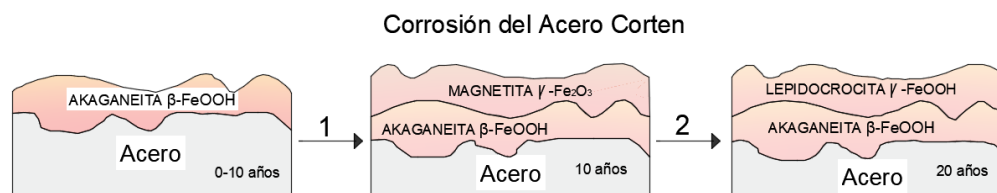
Acero patinable. Es un tipo de acero de baja aleación o autoprotectores adecuados para ser colocado en puentes, viaductos, adornos arquitectónicos, vagones para trenes etc. Este tipo de acero fue patentado en 1930 en EE. UU se compone de níquel, cromo, cobre, fósforo y otros elementos que en la actualidad han ido mejorando su resistencia y propiedades sometido al ambiente expone un color rojizo anaranjado o un color marrón en ambientes acuosos marinos, crea una película que la cual se oxida con rapidez patina y a la vez permite proteger a las capas internas de la progresión de la corrosión, también se establece que a la intemperie y en ambiente marino su velocidad de corrosión aumenta grandemente, al desprender el óxido la tinción de elementos es muy notoria. A partir de 1960 se empezó su uso en estructuras como puentes, edificios, tanques y estructuras externas.

En 1994 en estudios realizados por Yamashita se estableció el modelo más aceptable sobre la formación de la pátina o película protectora. La patina es una capa de herrumbre compleja compuesta de óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos los cuales tienen variable conductividad electrónica y transporte de masas, a continuación, se describe las fases que forman la pátina: inicia con la formación de Lepidocrocita γ -FeOOH en la superficie húmeda del acero, la parte interna evoluciona en un Oxihidróxidos férricos amorfos por la disolución de la Lepidocrocita

proceso que dura aproximadamente 10 años, finalmente las substancia amorfas tras 10 años más crea una nueva capa de nanoparticulas de goetita α -FeOOHCr enriquecida con cromo, de esta forma se tiene la gráfica:

Figura 34

Evolución de la formación de herrumbre protectora y estable sobre aceros Patinables.



Nota: (Ocaña, 2012)

En 1999, “Polyaniline as marine antifouling and corrosion-prevention agent”, analiza el uso de un recubrimiento como prevención anticorrosión. Una parte muy importante de los procesos de corrosión en ambientes marinos se deben a las incrustaciones de diversos organismos, como son bacterias, hongos y algas. Una de las soluciones más empleadas para evitar este tipo de corrosión es emplear un recubrimiento protector que no sea atacado por estos organismos. La investigación de Fernández 2016, propone el uso de polialinina como recubrimiento no tóxico, para evitar daños medioambientales, obteniéndose buenos resultados anticorrosivos en los experimentos realizados. (Fernández A. , 2016)

En 2003, “Corrosion behavior of weathering steel in marine atmosphere”, propone un mecanismo de corrosión del acero corten en ambiente marino. En las muestras estudiadas, durante el primer año de exposición a la intemperie, no hay diferencias en la velocidad de corrosión del acero corten respecto al acero al carbono. Sin embargo, en esta primera fase, la corrosión en el acero al carbono se produce por picaduras, mientras que en el acero corten, la capa de óxido se hace

cada vez más densa, generándose así la capa de protección que caracteriza al acero corten. Sin embargo, estas capas del acero corten no impide el ataque de cloruros, característico del ambiente costero. De esta forma, se explica porque en este tipo de ambiente, la capa pasiva no llega a estabilizarse. (Fernández A. , 2016). A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes tipos de aceros que han evolucionado en su composición y comportamiento, como se detalla en la Tabla 5, como indica (Ocaña, 2012) De acuerdo a los requerimientos químicos del acero A588. (Tobar Castro, 2015).

Tabla 5

Evolución de la composición de aceros patinables normalizados a lo largo de la historia.

ELEMENTO	USS		ASTM A242	ASTM A588	ASTM A709-HPS	
	Cor-Ten A	Cor-Ten B			50W – 70W	100W
	1933				1941	1968	1996
C	≤ 0.12	0.10 – 0.19	< 0.15	< 0.20	≤ 0.11	≤ 0.08
Si	0.25 - 0.75	0.15 – 0.30	0.25 - 0.75	0.15 – 0.50	0.30 – 0.50	0.15 – 0.35
Mn	0.20 - 0.50	0.90 – 1.25	1	0.75 – 1.25	1.10 – 1.35	0.95 – 1.50
P	0.07 - 0.15	≤ 0.04	< 0.10	< 0.04	≤ 0.02	≤ 0.015
S	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.06	≤ 0.006
Cr	0.30 - 1.25	0.40 – 0.65	0.30 - 1.25	0.40 – 0.70	0.45 – 0.70	0.40 – 0.65
Cu	0.25 – 0.55	0.25 – 0.40	> 0.20	0.20 – 0.40	0.25 – 0.40	0.90 – 1.20
Ni	≤ 0.65	-	< 0.65	< 0.50	0.25 – 0.40	0.65 – 0.90
V	-	-	-	0.01 – 0.10	0.04 – 0.08	0.04 – 0.08
Mo	-	-	-	-	0.02 – 0.08	0.40 – 0.65
Σ elástico (Mpa)	≥ 345	≥ 345	≥ 345	≥ 345	≥ 345 ≥ 485	≥ 690

a: (Carbono y Manganeso) Para cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta máximo, hasta el máximo de 1,50 %.

b: (Culombio) Para planchas con un espesor bajo 172 in (13mm), el mínimo de Columbio no es necesario

Nota: Tomado de Ocaña, 2012

Por medio de avances tecnológicos los aceros corten han evolucionado en cada proceso los siguientes parámetros: Mejorar la soldabilidad minorando el azufre, fósforo y carbono; mantener prolongadamente la capa o patina por más tiempo sin que penetre en el acero; mejorar las propiedades mecánicas como: límite elástico, tenacidad a la fractura aumentando al límite máximo la cantidad de manganeso. (Ocaña, 2012).

Propiedades de los aceros patinables. Sus granos están compuestos por microestructuras ferrítico-perlíticas con elementos aleantes como Cu, P, Cr, Ni y otros los cuales son menores al 1% individualmente. El acero resiste de 4-5 veces más a la corrosión que los aceros ordinarios y 2-3 veces más que la de un acero aleado únicamente con cobre. Resiste a valores altos en fluencia y límite elástico en EEUU es conocido como CORTEN por las siglas resistente a Corrosión-Tensión. (Ospina, 2009)

La capa de óxido adherente o patina se compone de dos subcapas: la adherente de goethita y la porosa y fracturada que es la externa compuesta por Lepidocrocita, la misma que tiene como objetivo minorar la velocidad de corrosión. La capa protectora que se forma al exponerse a la intemperie o en ambiente marino tiene dos efectos:

Efecto de Barrera: Barrera Cinética se forma debido al óxido generado inicialmente, barrera de transporte electrolítico barrera óhmica, absorción de electrolitos acuosos barrera hidrofóbica, transporte de oxígeno barrera de difusión.

Efecto intrínseco, mejora la resistencia a la corrosión en el contacto metal-óxido bajo la acción termodinámica del cobre Cu y en menor grado el Níquel Ni y acción cinética con el Cromo Cr Fósforo P y Cobre Cu. Las corrosiones del acero corten en agua de mar genera en la capara pasivante o patina corrosión que al paso del tiempo se torna irreversible y va deteriorando el espesor del acero de esta forma

tenemos: Lepidocrocita se halla externamente en forma de “fluorescencias laminares” o estructuras micáceas, diamantes y cúbicas, estos cristales se presentan en tamaños de 0,5-1,0 μm largo de 0,1-0,2 μm y $< 0,1 \mu\text{m}$, este óxido que se forma en ambientes aireados y marinos. Si envejece se transforma en goethita. Si se la calienta en ambiente seco se transforma en Maghemita y luego en hematita, Goethita está en la capa interna del acero corroído, su aspecto es semicristalino con formas tipo bola de algodón también pueden ser cubos, bipirámides y bastones duplos y sus tamaños oscilan entre una centena de nm a varias μm , se forma también como goethita superparamagnética, este envejecimiento de la Lepidocrocita se da por el aumento en la concentración de SO_2 . Magnetita está en la capa interna próxima al sustrato, el cristal tiene forma de polígono octaedros y dodecaedros rómbicos o también cubos o esferas se forma con poco oxígeno y es estable en ambientes alcalinos. Maghemita forma pequeños montículos o protuberancias en la capa interna, está compuesta por óxidos de hierro tiene forma de agujas, placas y cubos se forma por la oxidación de la magnetita, deshidratación de la lepidocrocita o calentamiento de los óxidos de hierro, su formación es muy común en ambiente marino. Akaganeita está en la capa externa tiene cristales en forma de agujas y balones su tamaño es pequeño no excede a 500 nm, se forma en presencia de haluros (Cl^- y F^-) luego se transforma en goethita o magnetita. Hematita se encuentra en la capa externa y adopta varias formas al ser sintética como placas o balones se estable en un rango alto de pH, es de los óxidos más estables. (Ospina, 2009)

Acero ASTM A588

Por sus componentes es un acero estructural habitualmente empleado en la construcción de puentes por su durabilidad y menor peso este tipo de acero no

requiere en la mayoría de casos recubrimiento, desarrolla una capa patinable la cual le permite una mayor resistencia ante la corrosión por su contenido de cobre y níquel es mayormente resistente en ambientes agresivos. Por los porcentajes de aleantes la característica del A 588 corresponde al Austenítico ya que está compuesto de elementos gamagenos que estabilizan la estructura autenítica en los compuestos de Carbono, Nitrógeno, Manganeso y Níquel.

Tabla 6

Propiedades de tensión mínimas requeridas para un acero ASTM A588.

	Menos de 4" (100mm), incl.	Sobre las 4" (100mm) hasta 5" (125mm), incl.	Sobre las 5" (125mm) hasta 8" (200mm), incl.
Resistencia mínima a la tensión KSI (MPa)	70 (485)	67 (460)	63 (435)
Mínimo punto de fluencia , KSI (MPa)	50 (345)	46 (315)	42 (290)
% Elongación de 8" (200mm)	18 (b,c)	....	.....
% Elongación de 2" (50mm)	21 (b,c)	21 (b,c)	21 (b,c)

b: El alargamiento no está obligado a ser determinado por la placa que sean utilizadas de base.

c: Para placas más anchas de 24 in (600mm), el alargamiento requerido se reduce en dos puntos menos al porcentaje establecido. Observar el alargamiento requerido según los ajustes en los ensayos de tensión, según la especificación A6/A6M

Nota: Tomado de Tobar Castro, 2015.

La descripción de los elementos componentes del acero A588: Carbono C elemento que aporta la resistencia y la dureza al acero, siendo uno de los principales elementos en la composición del acero por su excelente comportamiento estructural y costo conveniente. Silicio Si Aumenta la resistencia del acero sin disminuir la ductilidad en niveles normales hasta < 0,35% luego de ello se pierde grandemente la ductilidad, también funcionan como desoxidante del acero. Manganeso Mn este elemento forma parte de casi todas las aleaciones de acero, mejora la capacidad de suelda y trabajabilidad de este, así como regular la a cantidad de impurezas de

Arsénico As, Estaño Sn, Antimonio Sb y Fósforo P, empleado en exceso > 2% puede fisurar el acero cuando el enfriamiento es rápido. Fósforo P aumenta la resistencia al impacto y la ductilidad, altas concentraciones de fósforo pueden mejorar en gran manera la resistencia del acero a la corrosión atmosférica. Azufre S mejora la maquinabilidad del acero, pero en niveles altos reduce la ductilidad y la tenacidad por ello sus niveles deben estar estrictamente controlados en la fabricación. Cromo Cr mejora el desgaste y resistencia a los daños por el medio ambiente, permite una mejor resistencia al intervalo crítico de temperatura tanto baja como alta, junto al níquel pueden formar aceros inoxidable, en el acero corten forman capas pasivantes que disminuyen la velocidad de la corrosión. Cobre Cu. Níquel Ni aumenta la resistencia del acero con casi nada de disminución de la tenacidad actúa con el cromo dándole una mayor dureza y menor desgaste al acero. Vanadio V.

Zonas del pilote expuestas a corrosión

La velocidad de Corrosión puede variar de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 7. y las zonas de los pilotes expuestos a la corrosión del ambiente marino se detallan en la Tabla 8 y de forma gráfica en la Figura 35.

Tabla 7

Rangos típicos de velocidad de corrosión para pilotes de acero.

Zona	Lodo	Sumergida	Bajo Nivel de Agua	De Marea	Salpicadura	Atm.
V Corr mm.p.a	<1.96	1.18-3.94	5.91-11.81	0.00-3.94	>11.81	-

Nota: Tomado de Ruiz, 2018

Tabla 8

Zona marina del pilote.

Zona marina	Ubicación	Descripción del ambiente	Características del comportamiento corrosivo del acero
Atmosférica	Desde el extremo totalmente seco hasta la Zona de Salpicadura	Diminutas partículas de agua se pegan por acción del viento. La corrosividad varía con la altura que alcanza el agua, velocidad y dirección del viento, ciclo de rocío, lluvia, temperatura, radiación solar, polvo, estación del año y contaminación. Incluso las fecas de aves son un factor.	Esta zona puede lavarse debido a la lluvia y quedar libre de sal. El polvo de coral y combinado con sal parecen ser particularmente corrosivos en superficies de acero.
Zona de Salpicadura	Desde el límite entre zona Atmosférica y de Salpicadura hasta la línea de Plea Mar o alta Mar	Húmeda/ Seca, bien aireada	Es la zona más corrosivamente dañada de muchos metales, el acero no es la excepción. Los recubrimientos protectivos son difíciles de mantener en la zona debe corresponder a mantenimiento para su preservación.
Zona de Marea	Desde L.M.A o L.P.M hasta la L.M.B	Es una zona expuesta a los continuos golpes de marea es te sitio la contaminación marina se presenta en	El acero puede actuar como cátodo y tener una especie de protección

Zona marina	Ubicación	Descripción del ambiente	Características del comportamiento corrosivo del acero
		su máximo nivel. Por lo general, hay disponible una amplia cantidad de oxígeno.	contra la corrosión debajo de la zona de marea en el caso de pilotes.
Zona Sumergida	Desde L.M.B hasta donde empieza la Zona de Lodo	El oxígeno varía dependiendo del océano, siendo mayor en el Atlántico que en el Pacífico. La velocidad, la temperatura y el pH disminuyen respecto a la superficie.	La corrosión es menor en esta zona. Puede disminuir la formación de la capa pasivante.
Zona de Lodo	Desde la Zona de lodo hasta el extremo enterrado	Están presentes bacterias, como las reductoras de sulfato. Los sedimentos inferiores varían respecto a su origen, características y comportamiento.	El lodo puede ser determinante corrosivo, ocasionalmente inerte. Los sulfuros son un factor para el aumento de velocidad de corrosión.

Nota: Tomado de Ruiz, 2018

Figura 35

Zona marina del pilote



Los actores que inciden en la corrosión del acero son: Concentración de O_2 , es el mayor factor que contribuye a la cinética de la corrosión, está en función de la velocidad de flujo del agua y la cantidad de oxígeno disuelto. La fotosíntesis de plantas verdes y el accionar de las olas incrementan la cantidad de oxígeno, mientras que la descomposición de organismos muertos lo disminuye.

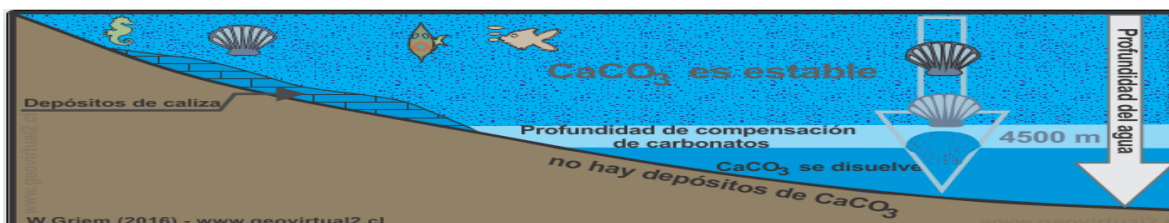
A mayor salinidad y temperatura menor oxígeno disuelto, a mayor actividad biológica aireación por mareas y fotosíntesis de algas marinas mayor oxígeno disuelto. La zona intermareal o zonas superficiales expuestas a presiones atmosféricas se encuentran saturadas o sobresaturadas de Oxígeno disuelto también se va reduciendo de acuerdo a la profundidad a la cual se esté considerando. El oxígeno disuelto favorece el desarrollo de micro y macroorganismos y con su incremento se produce más vida marina. A excepción de las bacterias Anaeróbicas las cuales independiente del valor del oxígeno disuelto desarrollan su pleno ciclo biológico. (Andrea, 2016).

Depósitos calcáreos, las formaciones de estos depósitos disminuyen el proceso corrosivo ya que neutralizan la difusión de oxígeno disuelto y por tanto la velocidad de corrosión del acero. Los factores que influyen en su precipitación y disolución son:

Con el aumento de CO_2 disminuye el Carbonato de Calcio $CaCO_3$, si el pH aumenta el $CaCO_3$ se precipita, si el pH disminuye el $CaCO_3$ se disuelve. A mayor temperatura el $CaCO_3$ forman calizas por la precipitación del carbonato. En la superficie existe una saturación de $CaCO_3$ y a medida que la profundidad aumenta esta disminuye hasta que por la presión existente se disuelve. (Andrea, 2016)

Figura 36

Aumento o disminución del Ph



Nota: Tomado de Andrea, 2016

Salinidad, se define a la cantidad de Sólidos total gramos que se encuentran disueltos en un Kilogramokg de agua de mar de la cantidad de sólidos el 80% corresponde al Cloruro de Sodio NaCl de las sales totales este Cloruro es el causante de la corrosión localizada en ambientes marinos. La variación de la salinidad varia la presión osmótica presión ejercida sobre un objeto o superficie y la densidad del agua las cuales favorecen al crecimiento de organismos en condiciones de salinidad habituales. (Andrea, 2016).

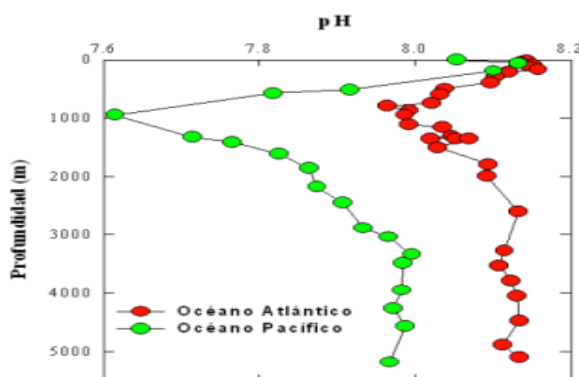
Para establecer los iones que contiene el agua de mar se detalla: cloruros Cl^- en 19353 ppm, sodio Na^+ en 10760 ppm, sulfatos SO_4^{2-} en 2712 ppm, magnesio Mg^{+2} en 1294 ppm, calcio, Ca^{+2} 413 ppm, potasio K^+ 387 ppm, bicarbonato HCO_3^- en 142 ppm, bromuro Br^- en 67 ppm, estroncio Sr^+ en 2, 8 ppm, boratos $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ en 4 ppm y Fluoruros, F^- en 1 ppm

Variación de pH, la superficie del océano es alcalina y los factores que influyen en su comportamiento es debido: La presión parcial del CO_2 depende de la fotosíntesis de las plantas, los microorganismos por oxidación bioquímica pueden incrementar el dióxido de carbono y el pH baja. El equilibrio del pH en agua de mar está afectado por los carbonatos los iones de bicarbonatos HCO_3^- , iones carbonatos CO_3^{2-} , ácido carbónico no disociado

H₂CO₃, la temperatura del agua, fotosíntesis de las plantas marinas y la contaminación por desechos. Estos factores provocan en el agua de mar un PH que se vuelve ligeramente alcalino oscilando entre 7.5-8.3 y a mayor profundidad se estabiliza en esos rangos. La resistencia de los organismos al cambio de pH es variable, las algas verdes como ejemplo soportan hasta pH de 9.4 y descensos hasta pH de 5-6 (Andrea, 2016)

Figura 37

Relación de la profundidad con el pH.



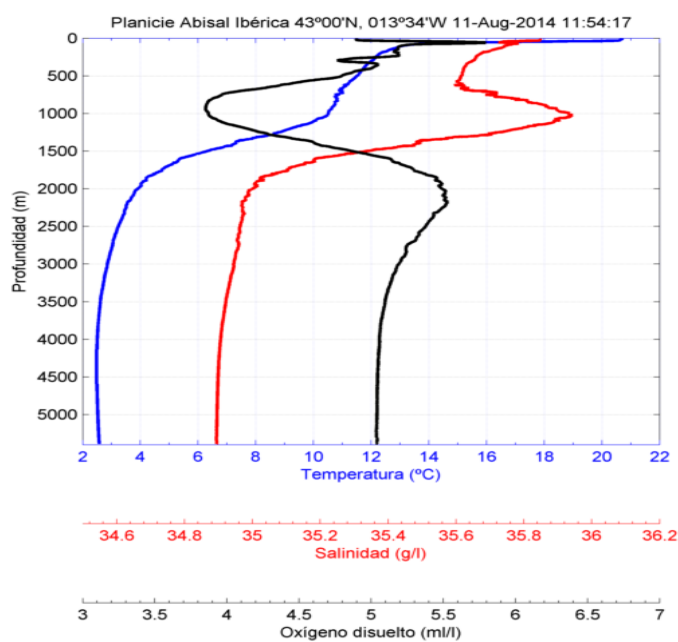
Nota: Tomado de Andrea, 2016

Efecto de Temperatura, es uno de los factores fundamentales para la corrosión ya que en la relación exponencial establecida por Butler-Volmer para la densidad de corriente de corrosión I_{corr} , que facilita el cálculo de velocidad de corrosión, se establece que a mayor temperatura mayor velocidad de corrosión. La temperatura disminuye con la profundidad oceánica de acuerdo a la parte de la tierra a temperaturas de entre -2°C - 35°C . (Andrea, 2016). Con el aumento de temperatura, el oxígeno disminuye la solubilidad del oxígeno lo que incrementa la actividad biológica y permite que se incrusten costras calcáreas. En el

verano por el aumento de la temperatura aumentan la velocidad de corrosión en el metal ya que la temperatura del ambiente y el agua de mar aumentan su temperatura.

Figura 38

Relación de profundidad y temperatura, salinidad y oxígeno disuelto



Nota: Tomado de Andrea, 2016

La Luz, es relevante para el desarrollo de algas verdes clorófitas cercanas a la superficie y las algas rojas a mayor profundidad que requieren menor energía, la intensidad con que la luz penetra en el agua y la claridad depende de las partículas en suspensión.

Ensayos a los cupones de acero

Dentro de los ensayos posibles para acero existe una extensa gama de prácticas para establecer sus parámetros y características fundamentales para el presente estudio se

observarán únicamente las normas que refieran el control de corrosión en acero sometido en agua de mar. Para ello la norma ASTM G 52 nos indica los parámetros a considerar al evaluar la exposición y evaluación de acero sometido al agua de mar.

Para la realización de ensayos en el acero se detalla bajo en cuadro las diferentes normas que contemplan el análisis del acero en construcciones:

Tabla 9

Normas para los ensayos en el acero.

Norma	Descripción
ASTM G52	Exposición y evaluación de metales y aleaciones en agua de mar superficial
ASTM G1	Preparación, limpieza y evaluación de Probetas
ASTM G15	Terminología sobre la corrosión y sus pruebas
ASTM G46	Examen y evaluación de la corrosión por picaduras
ASTM E 23	Ensayo Charpy
ASTM E 8	Prueba de Tensión para el acero

Corrosión por pérdida de peso. La norma ASTM a ser empleadas para este ensayo son la ASTM G1 y la ASTM G46 las cuales indican los procedimientos a realizar para realizar los ensayos y determinar la progresión de la corrosión en el acero. Esta evaluación consiste en evaluar la pérdida de peso del acero originada por diversos factores debido a un desgaste por las diferentes características ambientales a la que se hallan expuestos consiste en realizar la diferencia de peso entre un período inicial y final y con ello determinar es desgaste en el tiempo para ello se establece medidas para evaluar el desgaste: Miligramos decímetro cuadrado día (mdd), Milímetros por año (mm/año), Pulgadas o milipulgadas por año (mpy). Cabe notar que la corrosión no es un proceso de deterioro lineal, corresponde a un comportamiento completamente irregular que obedece a

diversos factores que conllevan a su paulatino desgaste. Este dato es fundamental ya que también puede contribuir a determinar la velocidad de corrosión del acero. Para la evaluación de la corrosión por método de pérdida de peso se puede realizar por tres formas:

Método Mecánico consiste en realizar el desbaste del cupón o muestra de acero hasta llegar a limpiar completamente el acero y llegar a una superficie uniforme y realizar la evolución con diferencia de pesos. Se puede realizar un desbaste con cizalla o con una moladora llegar a la capa uniforme y proceder con la evaluación.

Técnicas para esta limpieza pueden ser el lavado, raspado, cepillado, limpieza ultrasónica, presión con chorro de agua entre otras. Método Químico se emplea sustancias químicas que permitan limpiar del óxido al metal y dejarlo en su capa liza donde no exista rastro de corrosión esto se logra con el empleo de ácidos fuertes que limpian toda la herrumbre.

La medición por pérdida de peso ha sido una de las primeras pruebas que el ser humano aplicó para determinar la cantidad de acero que se estaba corroyendo dentro de los elementos, esta prueba se realiza con el empleo de disoluciones o mecanismos que permiten la disolución corrosiva, conforme evolucionaron los estudios se empezó a calcular la pérdida de espesor surgiendo las unidades de penetración, estas medidas suponen una corrosión uniforme pero para el caso de picaduras donde existe zonas más profundas no refleja la verdadera velocidad de corrosión debiendo tomar en cuenta que en corrosión por picaduras la falla se producirá antes de lo previsto. Para que los resultados de estos ensayos sean más reales deben ser aplicados en aceros con condiciones de corrosión severas. Es de apreciar también que la velocidad de corrosión no es lineal y obedece a

muchos parámetros como se indicó anteriormente los cuales hacen que su comportamiento sea incierto, pero si es palpable y medible en cada época.

Ensayo de impacto. Conocida como el péndulo de Charpy consiste en medir la energía que absorbe una probeta también conocida como resiliencia (es la energía de deformación en unidad de volumen o resistencia al impacto), (definida el área bajo la curva en la gráfica de carga vs desplazamiento), el impacto de un péndulo dada una altura determinada la cual rompe la probeta, la velocidad del objeto está dada por la altura inicial y final, si se rompe completamente la muestra es una falla frágil y aquellas que se doblan una falla dúctil. Para realizar este ensayo se debe realizar el fresado del acero hasta obtener las medidas de la probeta requerida mostradas en la Figura 39 y especificadas en la Tabla 10 según la norma ASTM E23

Figura 39

Probetas de ensayo

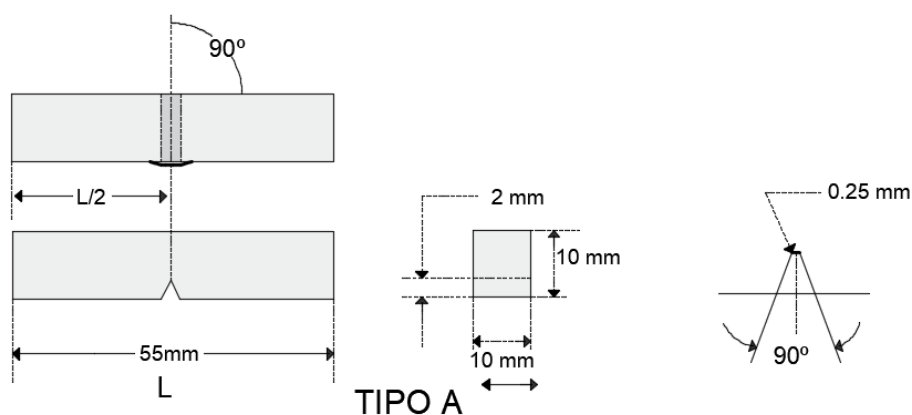


Tabla 10*Medidas requeridas de la probeta*

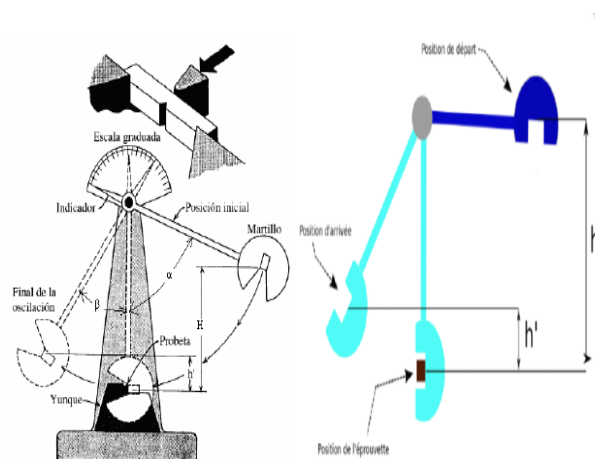
Designación	Dimensión nominal	Tolerancia de maquinado
Longitud	55 mm	± 0,075 mm
Espesor	10 mm	± 0,11 mm
Ancho	10 mm	± 0,11 mm
Ángulo de la Ranura	45°	± 1°
Profundidad de la Ranura	2 mm	± 0,08 mm
Radio de Curvatura en el fondo de la ranura	0,25 mm	± 0,025 mm
Distancia del centro de la ranura a los extremos de la probeta	27,5 mm	± 0,42 mm

Nota: Tomado de ASTM G 1, 2003

El ensayo permite determinar: la medida de tenacidad del material, el impacto del acero a diversas temperaturas y la velocidad de aplicación de la carga. Para su realización se debe considerar que la fractura y deformación de la probeta está dada por la diferencia de energía potencial entre elevación inicial y elevación con ángulos (α y β) respectivamente, la diferencia de altura inicial con la alcanzada tras la rotura permite calcular la energía absorbida en el impacto. Con estos datos se puede graficar la curva carga vs desplazamiento que a su vez permite determinar la resiliencia que es el área bajo la curva. El valor fundamental del ensayo nos refleja la tenacidad del acero que indica que cantidad de energía (carga) puede absorber sin romperse, tenacidad es directamente proporcional a ductilidad. La máquina debe corresponder a las especificaciones técnicas ISO 148, su energía de impacto oscila entre (15-358) Julios.

Figura 40

Máquina para ensayo Charpy



Ensayo de tracción. Es un ensayo que permite conocer varios parámetros del acero norma ASTM E 8 y compararlos con sus especificaciones iniciales y analizar su comportamiento en el tiempo, los datos que nos refleja son: Coeficiente de Poisson, Alargamiento, Límite elástico, Resistencia a la Tracción, módulo de elasticidad y Límite de fluencia.

Tabla 11

Dimensiones para prueba de tensión especímenes rectangulares.

Característica	Dimensiones (mm)
G-Longitud de Referencia	25,0 ± 0,08
W- Ancho	6,25 ± 0,05
T- Espesor	Espesor del Material
R- Radio de Filete, min	6
L- Longitud Total, min	100
A-Longitud de la sección reducida, min	32
B- Longitud de la Sección de agarre, min	32
C- Ancho de la Sección de agarre, aproximadamente	10

Nota: Tomado de ASTM G 1, 2003

Máquina para el ensayo a tracción se emplea la máquina de tracción universal según especificaciones de la ASTM E 4 para su estándar y calibración

Figura 41

Máquina para Prueba de Tracción



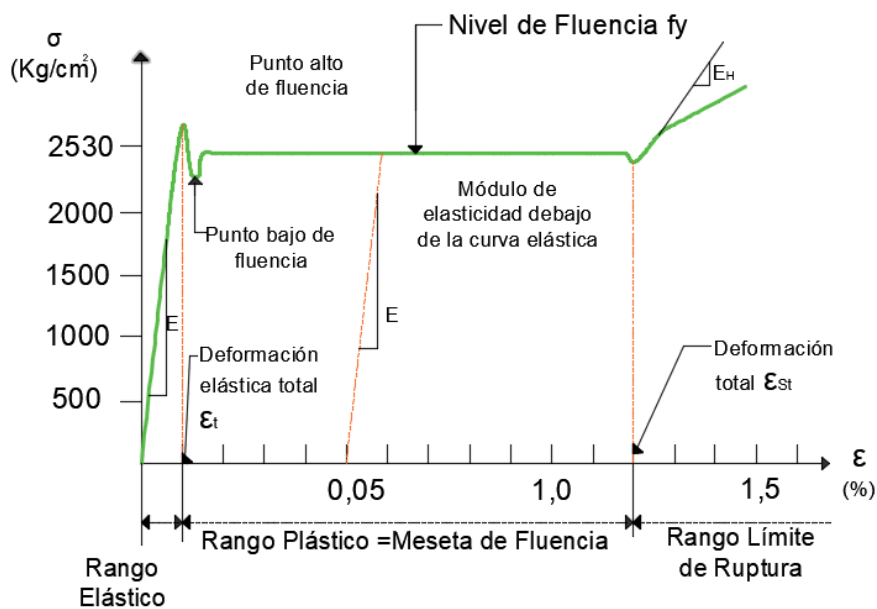
Al realizar el ensayo se define la curva esfuerzo deformación la cual diferencia zonas de esfuerzo del acero así tenemos: deformación elástica las deformaciones son absorbidas por todo el largo de la probeta y al retirar la fuerza que causa la deformación se recupera la forma inicial de la probeta. Punto de Fluencia o Cadencia la probeta llega a deformarse en forma repentina sin un aumento de la carga de tensión, existe prácticas en donde se expresa que aun disminuyendo la fuerza aún existe deformación, en los aceros al carbono es mayormente notoria esta zona, pero en algunas aleaciones es mínima o es imperceptible.

Deformación plástica una vez que se aplica la fuerza de tracción la probeta presenta una deformación que ya no es reversible. En esta zona se determina la resistencia a la tracción del material al dividir la carga aplicada para el área de la sección, con el punto de esfuerzo último termina la zona plástica.

Estricción o cuello se da en la parte central de la probeta cuando esta sección se empieza a estirarse hasta llegar a fatigar y romper (esfuerzo de fractura) a la probeta por el incremento de la carga.

Figura 42

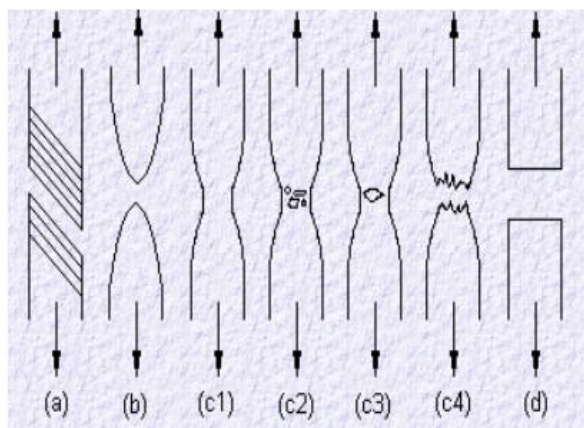
Curva esfuerzo deformación para aceros con bajo contenido de carbono.



Nota: Tomado de Monografias.com, s.f.

Figura 43

Tipos de fractura del acero



- a) Fractura de cizallamiento dúctil, b) Fractura completamente dúctil, c) Etapa de la fractura copa-cono, d) Fractura frágil

Los resultados que se obtienen del ensayo son: Esfuerzo de cadencia (la probeta tiene deformación plástica queda deformado al retirar la fuerza), esfuerzo de tensión (es la máxima carga que resiste la probeta conservando su sección transversal inicial), módulo elástico (capacidad de resistir a la deformación del acero se obtiene de la gráfica carga vs elongación), porcentaje de elongación (refleja que tan dúctil es el material hasta llegar a su rotura que porcentaje se alarga), Porcentaje de Reducción de área (refleja que cantidad de área disminuye en el cuello de botella), módulo de resistencia (área bajo la curva de esfuerzo deformación en la zona elástica), coeficiente de Poisson (relación entre la contracción relativa de la sección transversal y el alargamiento relativo longitudinal)

Biocorrosión. Es cuando el material sea este de la índole que fuere en su composición empieza a deteriorarse con el tiempo. Las especies causantes de biofouling

(bio= Biológico, fouling= ensuciamiento) son muy numerosas y variadas a lo largo de todos los océanos, mares, lagos, ríos, etc. de la tierra, pero de forma general, todas las especies del biofouling identificadas pueden ser clasificadas en seis grupos principales, como se muestra abajo. (Felipe, 2011), la acción tanto de macro como microorganismos estos van desgastando o degradándose de las siguientes formas:

Producen sustancias dañinas por el desarrollo y metabolismo de las bacterias y organismos (se adaptan a cualquier temperatura y proliferan en ambientes extremos se alimentan de diversas Notas y se adaptan acorde al oxígeno, temperatura, pH y el alimento, los productos son altamente corrosivos). Destruyen las aleaciones o cubiertas protectoras en metales o pinturas que son metabolizadas por micro o macroorganismos y continúan dañando el material. Dan lugar al desequilibrio en el consumo de oxígeno en zonas localizadas esto debido a una diferencia en la aireación del material. Deterioran en gran manera las sustancias inhibitoras de la corrosión y facilitan el accionar de iones mayormente dañinos presentes en el medio o los mismos que son producidos por los macro y microorganismos.

Los daños que provoca la biocorrosión es por las enzimas, exo polímeros, ácidos orgánicos e inorgánicos producto del propio metabolismo de los micro y macroorganismos, también se debe atribuir los daños a la acción adicional que supone el amonio y el sulfuro de hidrógeno. Estas colonias de micro y macroorganismos crean una biopelícula(biofilm) que se adhieren debido a un exo-polímero que generan y con ello sustentan su propagación mediante sus acciones metabólicas. (Diego Arturo Ardila Reyes, 2013).

Biopelícula. Es un sistema microbiano organizado conformados por estructuras complejas por uno o más microorganismos los cuales generan colonias organizados en:

células aprox. (15%) y una matriz extracelular aproximadamente (85%) que se adhiere, esto a causa de las células planctónicas. El conjunto de organismos que crece sobre estructuras sumergidas de origen antrópico (fouling ó suciedad) comprende cientos de especies incluyendo bacterias, protozoos, algas, moluscos, briozoos, cirrípedos, poliquetos tubícolas, ascidias e hidrozooos. Estos organismos se fijan eficazmente al substrato desarrollando un rápido crecimiento y vasto potencial reproductor. Estos daños se producen sobre estructuras móviles y estacionarias afectando a embarcaciones, plataformas petrolíferas o de gas, instrumentos de investigación oceanográfica, plantas de conversión de energía térmica y equipos de sondas subacuáticas. (Felipe, 2011) En la matriz extracelular se establece las relaciones de dependencia celular a través de señales químicas y cooperación estas se alimentan también por el flujo de residuos, nutrientes, enzimas y agua son muy resistentes y pueden vivir en múltiples ambientes frecuentemente se desarrollan en agua de mar, rocas, hormigón, etc. Esta película se crea inicialmente debido a microorganismos y posteriormente por epibiosis dan lugar a la formación de macroorganismos.

La microcontaminación obedece a una composición compleja de comunidades de ellos que al ser diversos imponen un comportamiento diverso, siendo imposible mantener a un cuerpo sumergido en condiciones normales sin la presencia de biopelículas y la posterior colonización de macroorganismos, cuyo efecto final repercute en la resistencia de los materiales estructurales y las propiedades físicas y químicas de los compuestos de los elementos ya sea de Hormigón o Acero para el caso que se hallan expuestos a este tipo de ambientes.

Contaminación por micro y macroorganismos. Inicialmente se crea una capa con moléculas exopolímeros y materia orgánica, luego diversos microorganismos bacterianos

invaden mencionada capa y empiezan a desarrollarse múltiples especies que, de acuerdo al ambiente, temperatura del agua etc., dan lugar a la vida de: especies vegetales como algas, variedad general de crustáceos y barnáculos. Los microorganismos son capaces de resistir la acción de pinturas antiincrustantes ya que su acción es agresiva y muy invasiva. (Andrea, 2016).

Algunos microorganismos son: Briozoos, Celenterados, Poríferos como esponjas, Protozoos, Algas, Diatomeas, Hongos, Bacterias Sulfatoredutoras BSR que son anaerobias y consumen iones de sulfato y producen Sulfuro de Hidrógeno H_2S que es un gas venenoso soluble al agua y corrosivo, también forman Sulfuro Ferroso FeS que es de color negro, los microorganismos se alimentan de los ácidos orgánicos que producen las bacterias productoras de ácido, resisten hasta temperaturas de $80\text{ }^{\circ}C$ y el pH de 5-9. Las Bacterias Reductoras de Metal BRM disminuyen el espesor de la película pasivante del acero y se forma una capa menos estable que es más vulnerable a la corrosión lo que permite su constante avance. Las Bacterias Oxidantes del azufre BOA son aeróbicas y oxidan los elementos de azufre generando ácido sulfúrico H_2SO_4 , esto produce una rápida descomposición del metal. Las Bacterias Depositantes de Metal BDM son aeróbicas y originan depósitos de Hidróxido Férrico producto de la oxidación del Ión ferroso a férrico esto origina ataques corrosivos localizados.

Las Bacterias Productoras de Ácido BPA son anaerobias forman una capa gelatinosa en las superficies metálicas y protegen el accionar de las bacterias para que estas provoquen picaduras, estas bacterias permiten que se produzca gran cantidad de ácidos orgánicos e inorgánicos entre ellos: Ácido Nítrico HNO_3 , Ácido Sulfuroso H_2SO_3 , Ácido

Sulfúrico H_2SO_4 , Ácido Carbónico H_2CO_3 y Ácido Nitroso HNO_2 estos ácidos impiden, retardan y disuelven la formación de películas pasivantes o protectoras.

La microcontaminación origina los macroorganismos, estos son visibles a simple vista, abundan en la zona de marea lo que impide que se propaguen los gases disueltos provocando que exista corrosión en los materiales, en cambio en la zona sumergida el blindaje que tienen los materiales sumergidos puede dar lugar a que se creen ambientes anaeróbicos locales que permiten la vida de bacterias anaeróbicas que conllevan ataques localizados. Los macroorganismos son fijaciones de organismos de origen vegetal o animal que se fijan a la superficie de metal, cuando existe contacto con el agua de mar se forma un “velo biológico” compuesto de protozoos, bacterias y algas unicelulares lo cual conlleva a la fijación de organismos por incrustación al formarse una capa conocida como biopelícula y esta su vez da cabida a embrionar cienes orgánicos clasificados en: Organismos de coraza dura, Percebes, Anélidos, Bryzoas Incrustadas, Moluscos, Corales, Organismos sin coraza, Algas Marinas, Celentéreos, Bryzoas Filamentadas, Tunicados, Esponjas etc. Los elementos de acero que contienen cobre son más resistentes a la macrocontaminación. (Andrea, 2016)

Figura 44

Principales especies causantes de biofouling



Nota: Tomado de Felipe, Evaluación de efectos de biocidas contenidos en recubrimientos “antifouling “(AF coatings) en ecosistemas marinos, 2011.

Principales especies causantes de biofouling. (Felipe, Evaluación de efectos de biocidas contenidos en recubrimientos “antifouling “(AF coatings) en ecosistemas marinos, 2011)

Las etapas para la formación de biopelículas son:

Adhesión inicial: monocapa orgánica ocupa un lugar en el material de invasión glicoproteínas o Polisacáridos acondicionan el sector para adherencia de bacterias.

Adhesión irreversible: se adhieren las bacterias por mecanismos: estereoespecíficos, electrostáticos o iónicos se forman interacciones químicas y físicas más duraderas entre la superficie y las bacterias.

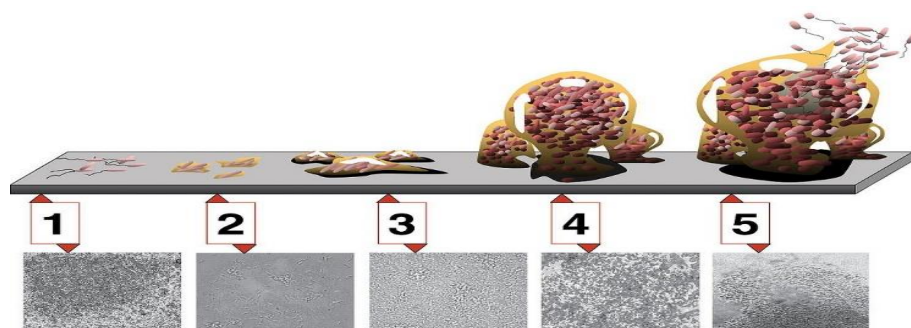
Maduración I: se forman sustancias poliméricas extracelulares o Exopolímeros.

Maduración II: atrapan arcilla, compuestos orgánicos, minerales precipitados y células muertas haciéndolos parte de la biopelícula haciendo más fuerte la comunidad microorgánica.

Dispersión se incrementa la biopelícula por el crecimiento de organismos y la propagación de la matriz extracelular, se generan condiciones apropiadas para su crecimiento y expansión.

Figura 45

Etapas de la formación de las biopelículas



Ensayos a realizarse en el material orgánico.

En ambientes marinos son múltiples los factores que afectan el desempeño de las estructuras más aun cuando estas contienen acero ya que en este material se adhieren con facilidad los micro y macroorganismos encostrantes los cuales en parte ayudan a proteger al acero de agentes externos, pero por sus procesos orgánicos van deteriorando el acero, para ello es consecuente la realización del monitoreo para verificar el incremento de la carga que supone el crecimiento de estos organismos así como su agresividad y aumento en la carga a la estructura. Existe estudios que establecen un estándar aproximado a cuatro años dentro de los cuales se desarrolla las biopelículas y empiezan a dañar el acero por picadura y posteriormente van destruyendo el acero de acuerdo a las condiciones del ambiente, agua, arena, oleaje etc. (M. Bethencourt, J. García de Lomas, A. Corzo, D. Villahermosa y V. Matre, 2009). Los estudios a realizarse se encuentran descritos en la Tabla 12.

Tabla 12

Ensayos a realizarse en el material orgánico

Norma	Descripción
ASTM D 3919	Práctica para medir oligoelementos en agua mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.
ASTM E 112	Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño promedio de grano
ASTM E 1382	Determinación del tamaño promedio de grano mediante análisis de imagen semiautomático y automático

Digestión ácida en vaso cerrado. Se emplea este método de digestión para estudiar los analitos en muestras orgánicas e inorgánicas consiste el mezclar la muestra con algún reactivo que permite la digestión dejando en forma limpia a la observación los elementos relevantes que se desea notar en una investigación. Reactivos son en su mayoría ácidos minerales que pueden ser: ácido clorhídrico (para materia inorgánica), ácido nítrico (para metales comunes menos cromo y aluminio), ácido sulfúrico (para compuestos orgánicos), ácido perclórico (para aceros inoxidable y aceros), mezclas oxidantes (como agua regia para materia orgánica) y ácido fluorhídrico (para minerales rocas).

Espectrómetro de absorción atómica. Este ensayo consiste en analizar el nivel de concentración de elementos metálicos sobre los cuales se puede establecer a medida que ocurre con las componentes de un metal o si este se puede ser influenciado por otros que se hallan en el ambiente, data su funcionamiento por la Ley de Beer- Lambert que establece comportamientos únicos en la longitud de onda para cada elemento metálico y que se logra a través de promover a electrones de los átomos a un orbital más alto por medio de una luz de determinada onda lámparas de cada elemento.

Figura 46*Espectrómetro de absorción atómica*

Para la realización del ensayo se debe realizar el atomizado de la muestra (el atomizado es un proceso complejo que inicia con la desolvatación que es la evaporación del solvente lo cual produce aerosol molecular sólido, luego por disociación del gas se forma un gas atómico donde los átomos se disocian en iones y electrones al excitarse por medio de calor las moléculas, átomos y iones producen espectros de onda, estos patrones resultan ser más complejos de interpretar mientras el metal es más pesado).

La espectroscopia de absorción atómica consta de tres partes (Nota de radiación (sus características son: Monocromaticidad permite seleccionar en forma precisa las longitudes de onda del elemento, Intensidad que sea lo suficientemente intensa la onda de interés, Estabilidad que no exista fluctuaciones para la lectura), medio para obtener átomos libres y el sistema para medir la absorción). Este ensayo puede ser con llama y electrotérmica.

Atomizadores con Llama permite obtener átomos en estado fundamental por media de aplicación de energía capaz de romper enlaces y disociar moléculas. Para el ensayo

debe existir requerimientos para transformar átomos a estado fundamental, estos son: Nebulizador (convierte a una cantidad de muestra en una nube al tamaño de una gota de agua), Mechero (lugar por donde sale la llama), Llama (existe de óxido nitroso-acetileno y aire-acetileno, la llama tiene tres partes: Zona Externa parte más fría de la llama, Zona de Reacción lugar donde se atomiza la muestra y la Zona Interna es la más cerca al mechero y corresponde a un color azul). El ensayo tiene algunas ventajas como es la interpretación sencilla, los límites de detección inferiores a la (ppm) y gran variedad en el análisis de elementos. Las muestras sólidas deben ser disueltas para su análisis.

Microscopio electrónico de barrido. SEM (Scanning Electron Microscopy o MEB Microscopio Electrónico de Barrido) es una prueba diseñada para analizar la microestructura de los materiales, permite observar la topografía y morfología (detector de electrones secundarios SE), análisis elemental de la muestra (los rayos X son detectados por la espectroscopia de difracción de rayos X EDS) reflejando el análisis cuantitativo y para el análisis cualitativo (mediante electrones retrodispersos BSE, muestran información cualitativa). El ensayo observa una alta definición de estructuras sólidas, se emplea un haz de electrones focalizados que barren la superficie de la muestra, la cantidad de corriente final de la sonda determina la intensidad de la señal emitida, ya sean electrones secundarios o retrodispersos, o rayos X. A menor tamaño del haz menor es la cantidad de corriente disponible por ello el observador debe ajustar los controles del Microscopio para producir los resultados oportunos: alta resolución, alta profundidad de campo o alta eficiencia de rayos X. (Bello, 1999). Los fotones intrínsecos en los átomos al analizarlos nos dan certeza de los elementos químicos si están presentes entre 200 ppm si no son puros y 1000 ppm si lo son.

Las variables que inciden en el microscopio son: Resolución, Magnificación, modos de vacío voltaje de aceleración, tipo de detectores y Nota de electrones.

Figura 47

Microscopio electrónico de barrido.

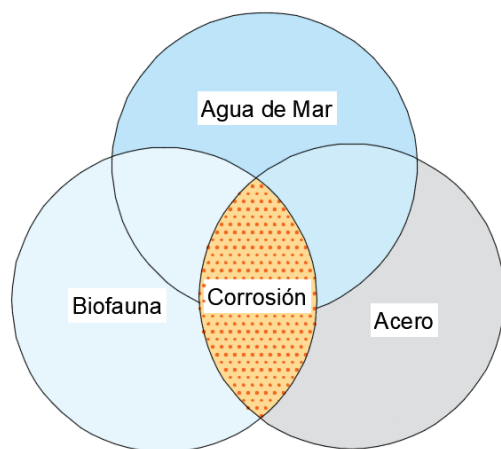


Para que el estudio sea realizado adecuadamente obedecen al cumplimiento de parámetros como: La estabilidad química de la muestra, la resistencia a dañarse por la radiación, cantidad de agua y la conducción de la muestra, plantearse adecuadamente la observación que se va a realizar en la muestra y las dimensiones de la cámara del microscopio que son fundamentales a la hora de realizar el ensayo. En tanto que la muestra debe prepararse siguiendo los presentes lineamientos: Deshidratación y secado de la muestra, estabilización a la sensibilidad del haz de electrones, preservar su identidad química y su estructura, mantener la muestra libre de impurezas, la muestra debe ser conductora pero no acumular carga, identificar daños en las muestras y corregirlos, almacenar en forma adecuada la muestra antes de someterla al estudio.

Identificación de especies. La acumulación de especies en las superficies de acero en los pilotes y en los cabezales de hormigón del puente se evidencia aún más con el paso del tiempo por equilibrio del sistema de vida que se forma algunas especies van desapareciendo y se instauran otras como se ha estudiado anteriormente, la biopelícula protege en un sentido al acero y el hormigón del impacto directo del agua, arena y ambiente salino, pero a su vez enzimas, ácidos orgánicos e inorgánicos producidos por su metabolismo paulatinamente provocan disminución de las secciones y permiten que la corrosión gane terreno.

Figura 48

Causas de la corrosión del acero en el mar



Nota: Tomado de Revista Marina, 1981

Los métodos de observación de estos macroinvertebrados se basan en la observación directa ocular y microscopia mediante estéreomicroscopio y comparación con diversas Notas, claves dicotómicas y/o literatura mayormente nacional (según consideraciones del experto consultado Correoso M,R 2019, por razones de distribución

biogeográfica de estas especies en el litoral ecuatoriano, y se estima que puede llegar taxonómicamente hasta género, y en algunos casos con mayor precisión hasta especies según literatura consultada. Estéreo microscopio es como una lupa de aumento o binocular que permite observar a detalle con resoluciones variables que permiten ampliar imágenes y observarlas con detalle lo cual permite identificar la taxonomía de los organismos encontrados a detalle y poderlos comparar con la bibliografía existente

Figura 49

Estéreo microscopio



Difractometría de rayos X (XRD). Está basado en las interferencias constructivas cuando un haz de rayos x, la ley que rige este principio es la Ley de Bragg. Con ello se puede investigar parámetros cristalográficos, mediante el difractograma de polvo y el método Rietveld (de acuerdo a un patrón o base estructural conocida o teórica identifica las variaciones y similitudes con la muestra a estudiar, emplea el método de mínimos cuadrados) se establece el tamaño del cristal con la experticia del técnico se puede hasta determinar la estructura del sólido, así como el análisis policristalino y cuantitativo de sus fases. Para su análisis la muestra debe estar reducida a polvo a un tamaño aproximado de 5-20 micras, pero también se pueden analizar tamaños mayores, para la medición es

recomendable el tener algunos gramos de muestra para su análisis. Con la intrusión del mercurio con el método de Washburn se puede determinar el tamaño de poro. Son factores determinantes para la apreciación de resultados la presión empleada y el ángulo de contacto.

Figura 50

Difractometría de rayos X



Capítulo III

Marco Metodológico

Planificación

Diseño para el trabajo experimental

Como punto de partida, el estudio se va a realizar partiendo de inspecciones in situ y extracción de testigos del puente Los Caras, complementando los resultados con datos de ensayos de laboratorio realizados a velocidad de difusión natural, descartando ensayos acelerados, y otros extraídos de la Bibliografía.

A partir del proyecto de construcción del puente se obtendrán las características del acero de los pilotes (dimensiones, tipología, detalles de armado, características químicas etc.) y el hormigón de los cabezales de pilote empleado para construirlos (resistencia característica, ancho de recubrimiento, porosidad etc.). De los resultados del control de calidad realizado durante la ejecución de la obra se tratará de obtener la resistencia de que se extraerán testigos para realizar este estudio.

En el Puente se iniciará el estudio realizando una inspección visual del acero que se encuentra en contacto con el agua salada y cabezales, teniendo en cuenta que no se encuentre sumergido. Una vez terminada la inspección visual y designación de las pilas de las cuales se va a extraer los testigos de acero y hormigón, para lo cual se seguirán los procedimientos pertinentes determinados en las normas ASTM. Tras la extracción de los testigos, en el laboratorio se inspeccionará el hormigón de los cabezales y el acero de los pilotes, para someterlos a varios ensayos de caracterización del material.

Los ensayos de acero, hormigón y parte orgánica que se realizaron son:



Tabla 13

Ensayos realizados a las muestras de hormigón acero y capa orgánica.

	Hormigón		Acero		Material orgánico
	Compresión		Tracción		Espectrómetro de absorción atómica
Carbonatación	Empleo de fenolftaleína		Química		
	Uso de ácido clorhídrico	Corrosión	Mecánica		Microscópico Electrónico de Barrido
	Medición de pH		Mecánica con Equipo Industrial		
	Porosidad y absorción		Impacto		Identificación de Especies
	XRD Difractómetro de Rayos X y Espectroscopía de Rayos X de Energía Dispersa Eds.				

Según los resultados obtenidos en el estudio de la Calidad y Tratabilidad de aguas provenientes de ríos de llanura y embalses eutrofizados del río Chone, en noviembre del

2010, en los cuales se realizaron análisis físico-químicos, determinación de trihalometanos (THM) y biológicos de los cuales se obtiene los siguientes resultados:

(ANEXO)

Lo cual nos muestra que las aguas son débilmente básicas, contaminación orgánica y química media. Apreciándose la acumulación de plantas acuáticas y hierro, de acuerdo al estudio el embalse La Esperanza se encuentra en estado eutrófico, al igual que los Ríos Carrizal y Bachillero. (Barahona Dos Santos & Tapia Ortega, 2010)

Población y muestra

Para determinar el tamaño de la muestra sabiendo que nuestra población es de 48 pilas del puente las cuales se ha sacado la muestra de 10 pilotes el encamisado de 20 cm x 20 cm y de los cabezales con el extractor de núcleos las muestras de acuerdo a los hierros encontrados en la piel de los mismos, iniciando con la pasada del pachómetro antes de la extracción de los núcleos de hormigón de los cabezales, el mismo que nos ha mostrado una profundidad máxima de 10 cm, de los cuales se extrajo 10 núcleos de 2 pulgadas de espesor.

De acuerdo al análisis estadístico para la cantidad de muestras conociendo la población de 48 pilas se considera el 20,833% del total de pilas, así tendríamos la muestra más representativa ya que todas las placas han sido sometidas bajo las mismas circunstancias del estuario, se determinará cuáles son las afectaciones de acuerdo a su ubicación dentro del puente de las muestras extraídas.

De las pilas del puente se han sacado muestras de los cabezales y pilotes que se muestran en la Tabla 14, para disminuir en menor intensidad el riesgo en las mismas:

Tabla 14

Pilas de las que se extrajo las muestras de acero y hormigón en el puente Los Caras

Muestras de acero y hormigón extraídas										
Material	Muestra extraída de las pilas									
Acero	41	39	35	22	19	18	15	13	11	9
Hormigón	38	36	35	22	17	15	13	11	10	9

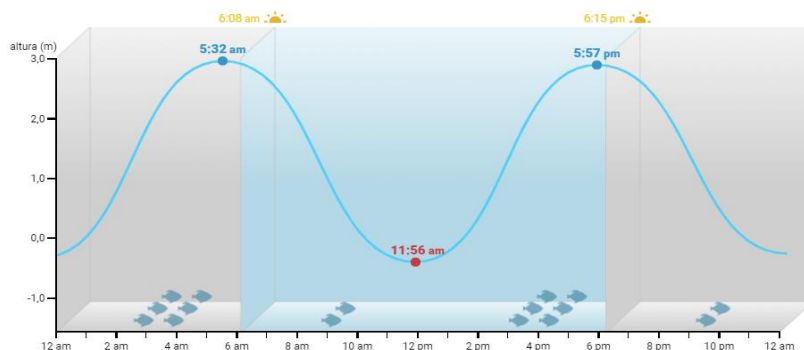
Toma de muestras.

Para la toma de muestras del acero de los pilotes se consideró la marea baja mediante la tabla de mareas que se tuvo durante el mes de octubre del 2019, la misma que se detalla a continuación: Tabla de marea (ANEXO)

Tomando en cuenta que se trabajaron de lunes a viernes exceptuando sábados y domingos, se debió considerar que esta tabla de mareas se explica durante 24 horas que son divididas en la subida y bajada de marea que aproximadamente son 6 horas hasta llegar a pleamarea y 6 horas más hasta llegar a bajamarea, siendo esto repetitivo cada 6 horas y con variaciones de un día al otro con una hora de diferencia aproximadamente.

Figura 51

Pleamar y bajamar



Nota: Tomado de tabla de mareas y solunares Bahía de Caraquez, 2019

Para la toma de muestras del hormigón también se tomaba en cuenta la tabla de mareas, pero se debió considerar pleamarea para la toma de muestras con el extractor de núcleos ya que de esta forma la embarcación pudo acercarse lo suficiente y mantenerse fija mientras se realizaban los anclajes para que el saca-núcleos se mantenga estable y pueda ser manipulado desde la embarcación.

Pasos para la toma de muestras de hormigón. Se debió hacer la toma cuando se encontraba en pleamarea permitiendo que el bote se encuentre lo más cerca a los cabezales de los pilotes y así poder manipular el saca-núcleos con mayor comodidad.

Pasos para la toma de muestras de acero. Para la toma de muestras del acero se intentó el uso de la moladora, la cual no tuvo la efectividad deseada, de esta forma se procedió a realizar la extracción de las muestras empleando el oxicorte o suelda autógena.

Para la extracción del acero era necesario que este en bajamar, en la cual se descubrían los pilotes. Se debe primero quitar la materia orgánica, para de esta forma permitir que el oxicorte pueda extraer las muestras.

Pasos para la toma de muestras de la parte orgánica. Para la toma de muestras de la parte orgánica fue necesario dividir el pilote en tres partes: superior, media e inferior. Los cortes se lo realizan con moladora y la extracción con una barreta que nos permita extraer sin causar daño y manteniendo las características del material.

Experimentación con el hormigón.

Para la realización de ensayos en el hormigón se detalla en la tabla 15 los ensayos a realizarse basado en las normas que contemplan el análisis del hormigón de una construcción:

Tabla 15

Ensayos a realizarse en las probetas de hormigón del puente Los Caras

Norma	Descripción
ASTM C 295	Indica pruebas que se pueden realizar al hormigón en obras construidas.
ASTM C 823	Exámenes para muestreo en Construcciones
ASTM C 39	Especificación de ensayo a compresión
ASTM C 42	Extracción de muestra y ensayo para hormigón en construcciones
ASTM C 114	Análisis Químico para el cemento hidráulico
ASTM D 4262	Prueba estándar para la medición de pH en el concreto
ASTM D 642	Densidad, Absorción y vacíos en el concreto endurecido

Bajo los estándares de la norma ASTM C39 se establece los correspondientes parámetros: Para la aplicación del método se aplica una carga axial a las muestras cilíndricas de hormigón con una velocidad establecida, para calcular posteriormente la resistencia a la compresión de la muestra al dividir la carga máxima alcanzada hasta la ruptura para el área de la sección transversal, con ello se establece un control dentro de los parámetros de diseño y resistencia como también evaluar el comportamiento del diseño del hormigón en obras en funcionamiento. Cumpliendo los requisitos de la norma se cumplen los parámetros establecidos:

Que las muestras cumplan con las caras planas en forma perpendicular, luego se verifica la iniciación en cero, la velocidad de compresión debe ser constante.

Según la ASTM C 42, establece los parámetros para la extracción de las muestras de hormigón con las especificaciones en cuando a la preservación de las condiciones ambientales al que se halla sometido en hormigón y posteriormente indica los parámetros

para la realización del ensayo a compresión para establecer su medida y los factores de corrección indicados en la ASTM C39.

Para la experimentación con el hormigón se verifica la resistencia del hormigón para lo cual se divide las muestras tomadas en tres partes, la constitución de las partículas de los materiales utilizados para la resistencia del hormigón empleando la Norma ASTM-C-4262, para determinar la cantidad de pH en el concreto, evaluando la calidad del mismo, puesto que esta nos ayuda en estructuras nuevas o que no cuenten con mucho tiempo.

Para el estudio de la carbonatación del concreto utilizaremos la norma ATM-D-1293, siendo este un proceso que avanza lentamente y asalta al acero, causando corrosión. Es un proceso donde se pierde el pH, cuando el dióxido de carbono reacciona con la humedad de los poros del concreto, convirtiéndose en hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio, que es más neutral. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto & Montani, 2000)

Medición de la porosidad y absorción (ASTM C42-97). Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de absorción y porosidad del concreto endurecido. Cada muestra será analizada individualmente mediante el siguiente procedimiento:

Ubicación del lugar de la muestra, extracción de la muestra mediante el empleo del taladro de núcleo. Preservación de las condiciones de humedad plástico para embalaje. Se pesa y luego se coloca en el horno a las probetas a una temperatura de 100 °C por lo menos por 24 horas, para luego retirarla y dejarla en la intemperie a una temperatura de 20 °C luego pesar. Si el peso varía en menos del 0,5%, se considera seca la muestra.

Luego de determinar la masa seca se sumerge en agua a 21 °C, durante no menos de 48 horas, y se seca el exterior con una toalla para retirar la humedad de la superficie.

Sumergimos las muestras mediante la balanza de inmersión y determinamos la masa sumergida en el agua.

Para el cálculo emplearemos las fórmulas para determinar el porcentaje de absorción y de porosidad (ASTM C642-97, 2013):

$$\% \text{ absorción después de la inmersión} = 100 * \frac{MSat - MSec}{MSec}$$

MSat = Masa Saturada (gr)

MSec= Masa Seca (gr)

$$\% \text{ de porosidad} = 100 * \frac{Vv}{V}$$

Vv = Volumen de Vacíos (cm³)

V = Volumen (cm³)

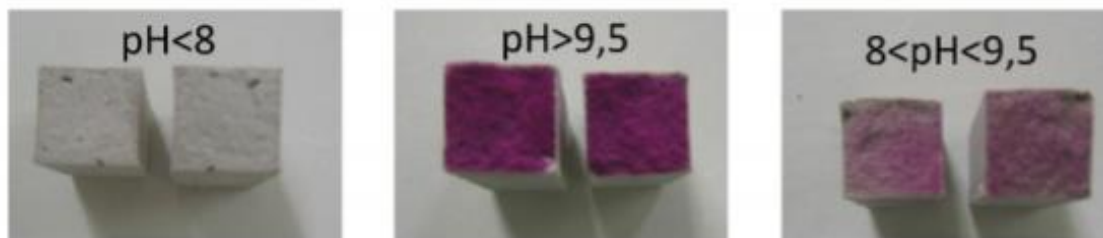
Medición de la carbonatación (ASTM D1293, ASTM C114). Este ensayo nos permite determinar si existe o no carbonatación, la cual va a influir en el pH, convirtiendo el hidróxido en calcio, reduciendo la alcalinidad del concreto, para este ensayo se lo realizará mediante el empleo de la fenolftaleína y por el uso de ácido clorhídrico que nos permitirá determinar si existe o no carbonatación y la profundidad de afectación de la misma. Para los ensayos de carbonatación con el uso de la fenolftaleína tenemos el siguiente procedimiento:

La segunda parte de las muestras, se le aplica fenolftaleína al 1%, el cual nos va a detectar el frente de carbonatación, La preparación de la fenolftaleína corresponde a disolver 1 g de fenolftaleína en 100 ml de etanol al 95% y mezclarla bien en un recipiente de vidrio. Ubicación del lugar de la muestra del hormigón en el lugar de la extracción. Extracción de la muestra mediante el empleo del taladro de núcleo. Preservación de las condiciones de humedad plástico para embalaje. Mediante el empleo de una pipeta se vierte la solución de

fenolftaleína en las caras de las muestras y se espera hasta que la coloración baya marcando toda el área del hormigón. Se espera por 20 minutos hasta que se establezca la sustancia vertida. Con un pie de rey o una regla de precisión se procede a medir los anchos que no están de color púrpura alrededor de todo el contorno de las caras de la muestra hasta obtener los suficientes datos. El indicador de pH nos permite definir tres zonas de pH, las que son inferiores a 8, donde la solución en contacto con el hormigón se torna incolora, el acero de la armadura se puede corroer, y esta zona incolora es le llama “profundidad de carbonatación”. Entre 8 y 9,5, donde adquiere una tonalidad rosa suave, en aquellas zonas pocamente afectadas por la carbonatación, y mayor de 9,5 donde adquiere un color rojo púrpura intenso, en aquellas zonas no afectadas por la carbonatación. (Galán Garcia, Carbonatación del Hormigón, 2011)

Figura 52

Carbonatación del hormigón: combinación CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH



Nota: Tomado de Galán Garcia, Carbonatación del Hormigón, 2011

Lo que nos indica de forma rápida si al someterlo a una muestra de hormigón esté presente indicios de haber perdido sus propiedades y la superficie o piel del hormigón empiece a carbonatarse bajando su valor alcalino de 12,5 que es lo que protege a los

elementos estructurales y sus componentes armaduras de la corrosión. Para ello la norma ASTM C114 indica los parámetros bajo los cuales se emplean sustancias químicas para establecer las propiedades del hormigón en obras.

Para determinar la velocidad de avance vamos a utilizar una fórmula derivado de una solución de la Ley de Fick, considerando la profundidad de carbonatación proporcional a la raíz cuadrada del tiempo que se ha demorado en penetrar al hormigón según la siguiente expresión:

$$x = k * \sqrt{t}$$

Donde x es la profundidad de la penetración (mm), k la velocidad en la que avanza (mm/año^{1/2}) y t el tiempo en años. Los cabezales fueron construidos hace 11 años. (Galán García, Carbonatación del Hormigón, 2011)

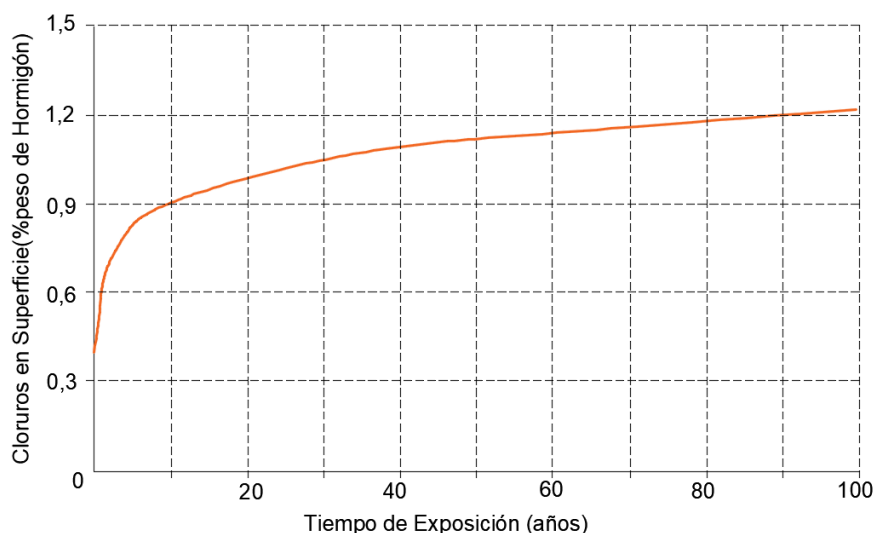
Por la recomendación de la Dra. Erika Murgueitio (Química docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas" ESPE", se establece la ejecución del ensayo basado en su experticia se establece que el "Ácido Clorhídrico" reacciona con el Carbonato de Calcio componente fundamental de la Carbonatación en el hormigón por lo cual se procede a establecer el procedimiento de práctica para la determinación de la aparente degradación del hormigón.

Para los ensayos de empleando el ácido clorhídrico tenemos el siguiente procedimiento: Ubicación del lugar de la muestra, extracción de la muestra mediante el empleo del taladro de núcleo, preservación de las condiciones de humedad plástico para embalaje, se lo divide longitudinalmente, en dos partes los cilindros extraídos de hormigón, para poder ver la afectación del ácido clorhídrico en el hormigón, se coloca el ácido

clorhídrico, lo cual, mediante la reacción química, identificará la presencia de carbonatación en el hormigón, mediante el método cualitativo.

Figura 53

Relación de exposición de cloruros en la superficie y tiempo de exposición



Nota: Tomado de Odriozola, 2007, pág. 57

Otros autores, obtienen la siguiente envolvente a partir de las concentraciones de cloruros en superficie medidas en diferentes hormigones situados en zona de salpicaduras, Concentración de cloruros en superficie medida en hormigones situados en zona de salpicaduras, tras diferentes periodos de exposición. (Odriozola, 2007, pág. 55)

En los pilotes de puentes sometidos a semejantes condiciones, expuestos a un ambiente marino característico de un clima templado. La composición del agua durante un año y el valor medio de los principales elementos agresivos son los especificados en la Tabla16:

Tabla 16

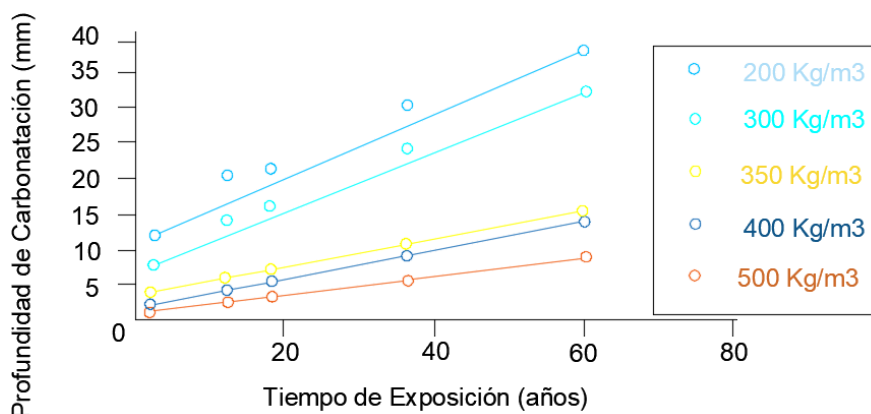
Principales elementos agresivos

Cloruros (Cl ⁻)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Magnesio (Mg ²⁺)	pH
16 - 21g/l	2,1 - 2,9 g/l	1,1 - 1,6 g/l	7,8 - 8

Nota: Tomado de Odriozola, 2007, pág. 184

Figura 54

Relación de la profundidad de carbonatación y el tiempo de exposición



Nota: Tomado de Campos Silva, Fajardo², & Mendoza Rangel², 2016

Medición del Ph (ASTM C4262). Es una práctica que permite establecer la acidez o la alcalinidad del hormigón mediante la medición del pH en el hormigón para de esta forma establecer si conserva sus propiedades o las está perdiendo, por ser una medida estandarizada del grado de acidez o alcalinidad de una determinada sustancia o compuesto, siendo la escala de 0 (ácidos) a 14 (básicos), y 7 neutro. El hormigón endurecido tiene un pH superior o igual a 12,5 (extremadamente básico), pudiendo caer hasta 9 en el proceso de carbonatación y de acuerdo a la resistencia.

El proceso a seguir para determinar los niveles de pH es: ubicación del lugar de la muestra, extracción de la muestra mediante el empleo del taladro de núcleo, preservación de las condiciones de humedad plástico para embalaje, la primera parte, de las muestras son trituradas, con el uso del combo, pasada por los tamices N° 30 (600 μm) y 40 (425 μm), y trabajaremos con el pasante del último tamiz.

Figura 55

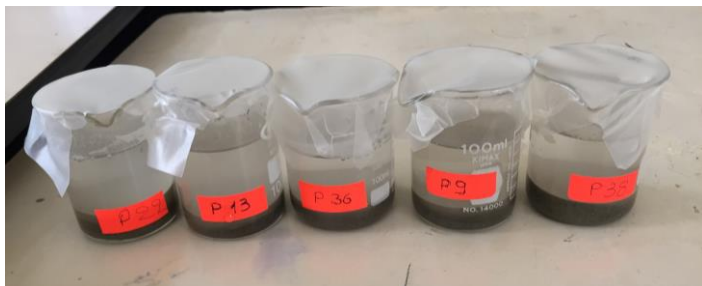
Proceso de trituración y tamizado del hormigón



Se coloca una el polvo de hormigón en un vaso precipitado de 100 ml. Dejamos el concreto tipo polvillo, y se colocan 2 muestras de 10 gr, y con pesadas en la balanza, se agrega 50 ml de agua desionizada a cada muestra y se agita por dos horas en el agitador eléctrico para homogenizar y se deja reposar, las muestras son llevadas al medidor de pH, se estabiliza el medidor en rangos de 7 a 10, se realizan lecturas de las muestras introduciendo el hisopo, debidamente descontaminado, se realizan las lecturas, un nivel de pH que se encuentre entre 11 y 12 indica un buen estado del concreto, y si en nivel se encuentra entre 7 y 8 se pueden realizar otros estudios, el concreto tiene un nivel de pH que puede cambiar de ácido a alcalino.

Figura 56

Homogenización del hormigón



Medición a la compresión (ASTM C42 y ASTM C39). Se toma en cuenta este ensayo por ser el de mayor confiabilidad en cuanto a la resistencia actual del hormigón, por la extracción in situ del hormigón empleado en la obra y bajo las mismas condiciones de desgaste, ya sean atmosféricas o por el contacto con el agua del Río Chone, este ensayo nos ayudará a la vez a ver el tipo de ruptura que tendrá nuestra muestra y mediante análisis bibliográfico determinar qué tipo de hormigón se dispone en la estructura analizada.

Para el ensayo se realizaron los siguientes procedimientos: Se extrae el núcleo, tomando en cuenta las dimensiones del diámetro, para la extracción hemos utilizado el pachómetro PROFORMETER 5+ (proceq), el mismo que nos permite localizar las varillas que se utilizaron en la piel, su profundidad, y así poder realizar la extracción de los núcleos para la toma de muestras, se debe colocar la relación longitud diámetro (L/D) determina el factor de corrección que nos permite interpretar la resistencia actual del hormigón, utilizando los siguientes coeficientes:

Tabla 17*Factor de corrección*

Relación longitud diámetro (L/D)	Factor de corrección de fuerza
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Nota: Tomado de ASTM C42

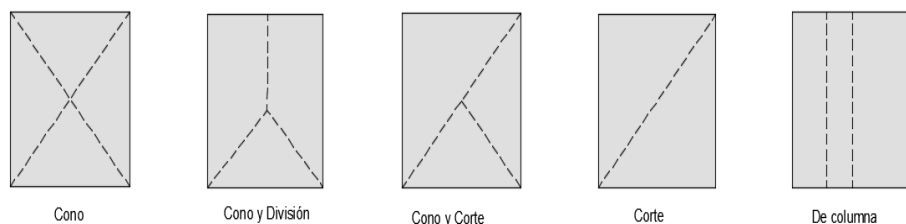
Las probetas de hormigón tienen que estar nivelados con la máquina de cortadora, para que la presión sea en toda la cara de apoyo cuando sea empleada la máquina de compresión.

Figura 57*Máquina cortadora modelo C35001TX y probetas cilíndricas de hormigón*

Colocamos en la máquina de compresión estándar, mediante la aplicación de una carga uniaxial, para verificar la resistencia del hormigón, que se obtiene de la división de la carga máxima que resiste el cilindro para el área de la sección transversal.

Figura 58

Tipos de fracturas en el hormigón



Nota: Tomado de ASTM C39, 2003

Calculamos el módulo de elasticidad, que es la rigidez del material que tiene ante una carga impuesta, conjuntamente en la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria. Determinamos a la vez la relación de Poisson, que se representa mediante la deformación lateral y axial de los elementos. Para los cálculos del módulo de Elasticidad se empleará las siguientes formulas: La fórmula (1) tomada de la (Norma Ecuatoriana de la Contrucción-NEC, 2015), las fórmulas (2) de (ACI 318, 2002) y (3), tomadas de (Abad, 2011):

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c} * 10$$

$$E_c = Wc^{1.5} * 0,14 * \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c}$$

Donde sabemos que:

W_c = Peso Unitario del hormigón para el cual utilizaremos 2400 kg/cm³,

f_c = Resistencia a la compresión del hormigón que sacamos de resultado de la máquina de compresión, para comparar con la de diseño.

Sacamos la deformación empleando los resultados obtenidos de los diferentes módulos de elasticidad calculados del hormigón, empleando la fórmula, tomada de (Ingeniería civil, 2008):

$$\Delta = PL/AE$$

P = Carga Máxima en Kg.

L = Altura del cilindro en cm.

A = Área del cilindro en cm².

E = Módulo de elasticidad en kg/cm².

Se debe considerar que el hormigón tiene ganancia en el endurecimiento, la cual después del día 28 sigue adquiriendo mayor resistencia, pero en mínimo porcentaje, de lo cual se obtuvo la Tabla 18.

Tabla 18

Resistencia del hormigón con respecto a los días de elaboración

Tiempo de Elaboración (días)	Porcentaje de Dureza (%)
1	16
3	40
7	65
14	90
28	99

Nota: Tomado de Ingeniería Real, 2019

Análisis de xrd difracción de rayos x, espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido. XRD Difracción de rayos X: este análisis nos permite a través de la excitación de átomos de la muestra con la aplicación de energía radioactiva la generación de un patrón que deben ser comparados con compuestos similares cuyo resultado es producto de las reacciones con los elementos que componen el acero y hormigón, elementos y compuestos del medio ambiente y elementos y compuestos del agua salina, para nuestro estudio la acción y compuestos que predominen en los patrones serán los factores determinantes para establecer las causas principales que están causando la degradación del hormigón de los cabezales de los pilotes así como el acero de los pilotes.

Figura 59

Difracción de rayos X



Espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS. Este análisis nos permite a través de la visualización en el microscopio electrónico de barrido adaptando un lector especial identificar el porcentaje de elementos que se encuentran presentes en la muestra

de hormigón y acero, este análisis refleja tres resultados: el uno es la imagen con un zoom de 1000x donde se pueden evidenciar patologías generales a identificarse, el segundo es una gráfica de keV vs Cps/eV que significa: el rango porcentual de los elementos en la masa compuesta, visualizado en el rango de voltaje adecuado, contado en segundos por electrón-voltio. keV: rango de voltaje de aceleración utilizado para el análisis EDS, kilo-electrón-voltio. Cps / eV: recuentos por segundo por electronvoltio esto evidencia las mayores proporciones de los elementos en la muestra y el tercero es un archivo XLS donde refleja el porcentaje del elemento que se encuentra en la muestra pudiendo discriminar los más altos y con ello establecer los compuestos que están presentes tanto para el análisis del hormigón como del acero.

Figura 60

Espectroscopía de rayos X



Microscopía electrónica de barrido. Este análisis nos permite a través de la visualización en el microscopio electrónico de barrido SEM identificar una imagen en archivo tif el detalle de los granos en el acero y la microestructura del hormigón con un campo de

visión de 208 μm para darnos una idea general del aspecto a más detalle del hormigón y acero que con la adecuada experticia del analista puede indicar compuestos formados y elementos característicos en el material. Los presentes análisis contemplan los mismos procedimientos para la preparación de las muestras tanto para hormigón como el acero:

Procedimiento para muestras de hormigón. Selección de las muestras de cilindros para el análisis correspondiente a partes representativas del puente. Corte de muestras a dimensiones mínimas para que puedan ingresar en los aditamentos de los lectores en laboratorio, seleccionando la cara expuesta al ambiente salino, para análisis EDS y SEM.

Trituración de un pedazo de muestra hasta obtener el pasante del tamiz #200 con tamaños inferiores a 75 μm para lograr un adecuado análisis de XRD. Marcación y embalaje de muestras. Lectura e interpretación de resultados de acuerdo a estudios, bibliografía y patrones de compuestos y elementos. Experimentación con el Acero

Experimentación con el acero de los pilotes.

Se procede a realizar la extracción de la muestra y experimentación detalladas en la Tabla 19, basándonos en las normas ASTM.

Tabla 19

Ensayos a realizarse en las probetas de acero del puente Los Caras

Norma	Descripción
ASTM G1	Preparación, limpieza y evaluación de probetas para la corrosión
ASTM G16	Aplicación de estadística al análisis de datos de corrosión
ASTM G31	Prueba de corrosión por inmersión en el laboratorio de metales
ASTM G46	Examen y evaluación de corrosión por picadura
ASTM E23	Barra dentada de ensayo de impacto de materiales metálicos
ASTM E8	Prueba de tensión de materiales metálicos

Para esto se debe tomar en cuenta el grosor de la placa a ser extraída. Iniciamos con la moladora para retirar la capa orgánica que se forma por el contacto con el agua del estuario, para luego emplear el oxicorte que nos permitirá extraer muestras de 15cm x15cm y el grosor de la placa que inicialmente fue de 20 mm de acero A588.

Medición de la corrosión (ASTM G31, ASTM G16, ASTM G1 y ASTM G46). La corrosión al ser el deterioro que sufre el acero por el ataque de una reacción química de su entorno, esta dependerá de la temperatura y la concentración de los reactivos, también pueden intervenir el esfuerzo mecánico y la erosión contribuyendo al deterioro. (Fundamentos de Ciencia de los Materiales, 2000). Existen diferentes pruebas para determinación de la corrosión por pérdida de peso, entre las cuales se puede mencionar por tratamiento químico, eliminación electrolítica o esmerilado con lija fuerte.

Se debe mantener registro de peso y dimensiones de cada muestra.

Figura 61

Pesaje probeta de acero



De acuerdo a la norma ASTM G1 la, en la limpieza puede ser: mecánica la química y con electrolíticos, de la cual se utilizarán las dos primeras

Para la limpieza mecánica se utilizará un cepillo metálico el mismo que nos ayudará a retirar las partes corroídas.

Figura 62

Limpieza mecánica de la probeta de acero



Para la limpieza química utilizaremos el agua regia, la que se compone de ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico (HCl) en relación 1 a 3, estos ácidos al mezclarse producen Cloruro Nitrosilo ($\text{NOCl} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$) (Castro Torrado & Tarazona Malaver, 2004), lo que al introducir el hacer A588 genera una digestión en la aleación.

Figura 63

Limpieza química de la placa de acero



Limpieza con el cepillo hidráulico que nos permite una limpieza mayor hasta eliminar la parte corroída y dejar solo la parte que mantiene las características de fabricación.

Figura 64

Limpieza mecánica con equipo industrial


















Se vuelve a pesar y tomar dimensiones de la muestra. Se realiza comparación y mediante el empleo de fórmulas pertinentes realizamos el análisis de durabilidad del acero, mediante el sistema de picaduras y sistema de pérdida de masas. Para la medida del sistema de picaduras empleamos el reconocimiento visual para determinar el tipo de picadura que tenemos de acuerdo a la norma (ASTM G46, 2005)

Para determinar la densidad, tamaño y profundidad de las picaduras se puede determinar mediante las gráficas, en las cuales la Columna A determina el número de sitios por unidad de superficie, la Columna B el tamaño promedio de las picaduras y la C la intensidad o profundidad media del ataque. (ASTM G46, 2005)

Figura 65

Tipos de picaduras dimensiones y profundidad

	DENSIDAD	DIMENSIÓN	PROFUNDIDAD
1	 $2.5 \cdot 10^3 / m^2$	 $0,5 \text{ mm}^2$	 0,4 mm
2	 $1 \cdot 10^4 / m^2$	 $2,0 \text{ mm}^2$	 0,8 mm
3	 $5 \cdot 10^4 / m^2$	 $8,0 \text{ mm}^2$	 1,6 mm
4	 $1 \cdot 10^5 / m^2$	 $12,5 \text{ mm}^2$	 3,2 mm
5	 $5 \cdot 10^5 / m^2$	 $24,5 \text{ mm}^2$	 6,4 mm

Nota: Tomado de ASTM G46, 2005

Deberemos determinar el factor de picadura, el cual al ser mayor el número mayor es la profundidad de penetración, mediante la aplicación de la siguiente ecuación (ASTM G46, 2005):

$$\text{Factor de Picadura} = \frac{\frac{\text{Profundidad promedio de Picaduras}}{\text{Máxima profundidad}}}{\text{Pérdida de espesor por corrosión generalizada}}$$

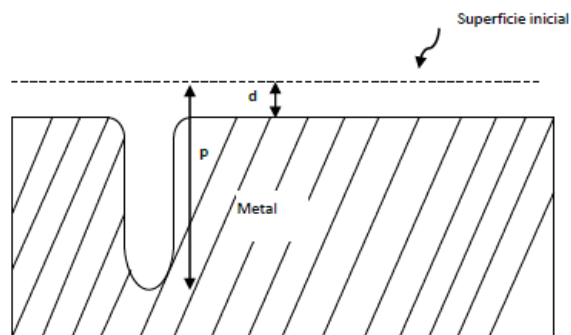
$$\text{Factor de picadura} = \frac{\text{Profundidad Media de Picadura}}{\text{Espesor promedio de perdida}}$$

$$\text{Factor de Picadura} = \frac{P}{d}$$

Si existe corrosión en un área pequeña que actúa como ánodo, el ataque progresa en profundidad, y se describe como profunda, y si al contrario el área de ataque es amplia y menos profunda, se denomina superficial. Lo cual se representa mediante la siguiente imagen (Fernandez, Verdeja, & Perosanz):

Figura 66

Factor de picadura



Nota: Tomado de Jones, 2018

Equivalente de Resistencia a Picaduras (ERP). Es una regla de dedo ampliamente utilizada

$$ERP = \%Cr + 3.3(\%Mo) + 16(\%N)$$

Donde: $\%Cr$ = Porcentaje en Peso de Cromo

$\%Mo$ = Porcentaje en Peso de Molibdeno

$\%Ni$ = Porcentaje en Peso de Nitrógeno

Para que el factor de corrosión sea generalizado o uniforme, le corresponderá la unidad. Para la medir la velocidad de corrosión media medida a través de la perdida de masas, se emplea la ecuación establecida en la norma (ASTM G 1, 2003), siendo:

$$\text{Velocidad de Corrosión} = \frac{K * W}{D * A * T}$$

K= Constante

T= Tiempo de exposición (horas)

A= Área del testigo (cm²)

W=Pérdida de masa (gr)

D=Densidad (gr/cm³)

Para el cálculo de las tasas de corrosión se pueden utilizar diferentes unidades, pudiendo calcularse de acuerdo al valor de K que se detallan en la Tabla 20:

Tabla 20

Valores de la Constante K

Unidades de la velocidad de corrosión deseada	Constante (K) de la ecuación de velocidad de corrosión
Milésima de pulgada por año (MPA)	3.45x10 ⁶
Pulgadas por año (API)	3.45x10 ³
Pulgadas por mes (IPM)	2.87x10 ²
Milímetros por año (mm/y)	8.76x10 ⁴
Micrómetros por año (µm/y)	8.76x10 ⁷
Picómetros por segundo (pm/s)	2.78x10 ⁶
Gramos por metro cuadrado por hora (g/m ² .h)	1.00x10 ⁴ xD
Miligramos por decímetro cuadrado por día (mmd)	2.40x10 ⁶ xD
Microgramos por metro cuadrado por segundo (g/m ² . s)	2.78x10 ⁶ xD

Nota: Tomado de ASTM G 1, 2003

Prueba de Impacto en Péndulo de Charpy (ASTM-E23). Esta prueba al determinar la energía de deformación o tenacidad de un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto. La prueba que se realiza sobre una probeta que se entalla y se ensaya, recibiendo tres puntos de flexión, el péndulo cae sobre la cara de la probeta partiéndola en dos, las diferencias de altura antes del impacto y después del impacto, permitiendo medir la energía que absorbe en el proceso de ruptura de la probeta, pudiendo estimar la resiliencia y a partir de las características de falla deducir el tipo de material, y el empleo ante las cargas dinámicas.

La energía absorbida por la probeta se calcula mediante la ecuación

$$Ea = P(h - h')g = MgL[\cos(\beta) - \cos(\alpha)]$$

Donde:

Ea = Energía absorbida por la probeta.

h = Altura inicial del péndulo.

h' = Altura final del péndulo.

α = Ángulo inicial de la aplicación de la carga.

β = Ángulo al que se eleva el péndulo, después de la rotura completa.

g = Aceleración de la gravedad.

M = Masa que se encuentra acoplado al extremo del péndulo.

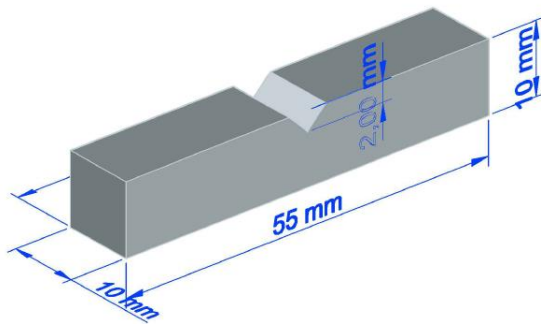
L = Longitud del brazo del péndulo desde donde se deja caer con una altura H .

Para este ensayo se realizará el siguiente procedimiento:

Se debe realizar probetas de acero con las medidas estipuladas en la norma.

Figura 67

Probeta de acero para prueba Charpy



Se la coloca en la máquina respectiva, para realizar la prueba de impacto de Charpy.

Figura 68

Máquina para prueba Charpy

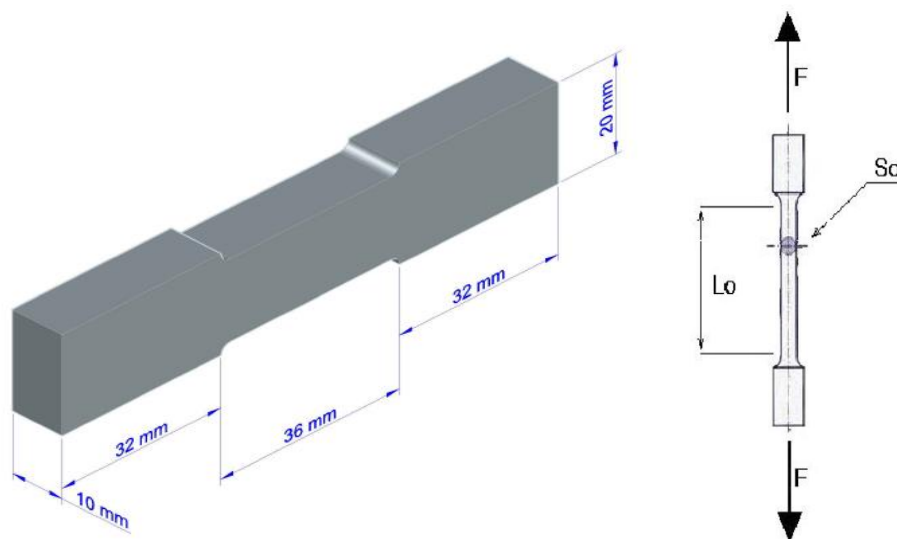


Se verifica la energía empleada. El área bajo la curva, es el desplazamiento que se conoce como resiliencia. Sin embargo, existen instrumentos que son capaces de determinar directamente la energía absorbida por la probeta. De acuerdo a la rotura que haya tenido el

material, este puede ser dúctil o frágil, el dúctil va a absorber mayor cantidad de energía que el frágil, y va a tener un alto nivel de deformación plástica el acero. (Ortega, 2005) Siendo los factores más influyentes para el impacto la masa y el brazo de palanca.

Figura 69

Probeta para pruebas de tracción del acero

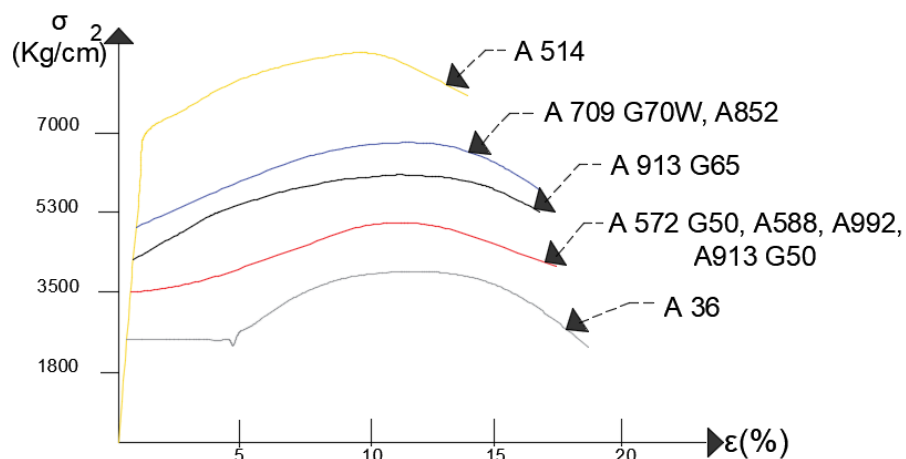


Prueba de tracción (ASTM-E8). Con este ensayo se proporciona la información sobre la fuerza y ductilidad de los materiales bajo fuerzas de tensión uniaxiales, mediremos la resistencia del acero, a una fuerza estática aplicada, de esta manera determinar el diagrama de esfuerzo -deformación, y el coeficiente de Poisson (alargamiento longitudinal y acortamiento transversal). Se debe realizar probetas de acero con las medidas estipuladas en la norma.

Se la somete a la probeta a una fuerza axial. De esta forma se mide la deformación que ha sufrido la probeta, la cual de acuerdo a la norma (ASTM A 588M, 2004) debe tener una resistencia mínima de 50 Ksi que correspondería a 3515.28 kg/cm² como vemos en las figuras obtenida de la revista (Cházaro Rosario & Alvarez Valadez , 2010)

Figura 70

Curva esfuerzo deformación para aceros con bajo contenido de carbono



Nota: Tomado de Cházaro Rosario & Alvarez Valadez , 2010

Se verifica el límite del punto de fluencia y el de plasticidad y con un gráfico se determinará los esfuerzos mediante la ecuación:

$$\sigma = F/S_0$$

Donde:

σ = Esfuerzo.

F = Carga aplicada a cada instante.

S₀ = Sección transversal inicial.

Determinamos la deformación o elongación determinando el cociente entre los alargamientos mediante la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

Donde

ε = Deformación o elongación.

L_f = Longitud tomada en el instante de la medida.

L_o = Longitud inicial de la probeta.

Análisis de XRD difracción de rayos x, espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido. Procedimiento para muestras de acero: Selección de muestras cupones de acero para el análisis correspondiente. Corte con cizalla a dimensiones mínimas 3x3 cm de área para que puedan ingresar en los aditamentos de los lectores en laboratorio, para ello se seleccionó las partes más dañadas y corroídas del acero que han estado sometidas al ambiente salino para análisis EDS y SEM. Trituración de limallas de acero obtenidas del desbaste de las caras expuestas a corrosión hasta obtener el pasante del tamiz #200 con tamaños inferiores a 75 μm para lograr un adecuado análisis de XRD. Marcación y embalaje de muestras. Lectura e interpretación de resultados de acuerdo a estudios, bibliografía y patrones de compuestos y elementos.

Figura 71

Muestras de acero y hormigón que serán empleadas en para en análisis del microscopio electrónico de barrido y refracción de rayos X



Análisis de la capa orgánica.

En el acero de los pilotes se encontraba la capa vegetal, misma que al ser retirada dejaba una pigmentación negra, que será a analizada mediante pruebas químicas. Los compuestos orgánicos representan para los seres vivos una parte importante de la estructura química, energía almacenada y transmisión de las características. Para determinar el tipo de materiales que se encontraban en la materia se trajo las muestras requiriendo la opinión de un experto en el conocimiento de organismos marítimos, el que emplea los métodos de observación de estos macroinvertebrados, que se basan en la observación directa ocular y microscopia mediante estéreomicroscopio y comparación con diversas Notas, claves dicotómicas y/o literatura mayormente nacional (según

consideraciones del experto consultado (Correoso M,R 2019), por razones de distribución biogeográfica de estas especies en el litoral ecuatoriano, y se estima que puede llegar taxonómicamente hasta género, y en algunos casos con mayor precisión hasta especies según literatura consultada. Para luego realizar un análisis de las muestras orgánicas, con el Espectrómetro de absorción atómica, para determinar la concentración de los elementos, la composición química de este material, y definir sus acciones sobre los pilotes del puente Los Caras.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

Resultados

Los análisis del acero y hormigón, se realizaron basándose en la norma ASTM, en las cuales se describe la metodología de los ensayos, para obtener los resultados teóricos y prácticos de acuerdo a ello poder analizar si el material cumple o no con las características iniciales.

Resultados de ensayos realizados al hormigón

Medición de la absorción y porosidad

Para esta prueba se hizo el corte de cuatro cilindros, a los cuales se les realizó el ensayo de porosidad y absorción que se detalla en la norma (ASTM C642-97, 2013) . La cual nos ayudará a determinar la porosidad y absorción tengamos dependiendo de ello la compresión y la durabilidad del hormigón de lo cual tenemos los resultados expresados en la Tabla. La norma UNE 127.010 limita el valor de la absorción admisible al 6% (ATHA, 2018).

Figura 72

Pesaje de muestras de hormigón con balanza electrostática de peso sumergido

**Tabla 21**

Resultado para medir la porosidad y absorción

PILA	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Vol. (cm ³)	Peso saturado (gr)	Vol. de vacíos (cm ³)	Peso unitario (gr/cm ³)	Absor. (%)	Poros. (%)
P38	202,70	121,61	81,09	207,24	4,54	2,50	2,24	5,60
P36	213,55	125,87	87,68	216,94	3,39	2,44	1,59	3,87
P22	211,89	125,45	86,44	215,48	3,59	2,45	1,69	4,15
P13	214,40	127,53	86,87	219,12	4,72	2,47	2,20	5,43
Prom.	210,64	125,12	85,52	214,70	4,06	2,46	1,93	4,76

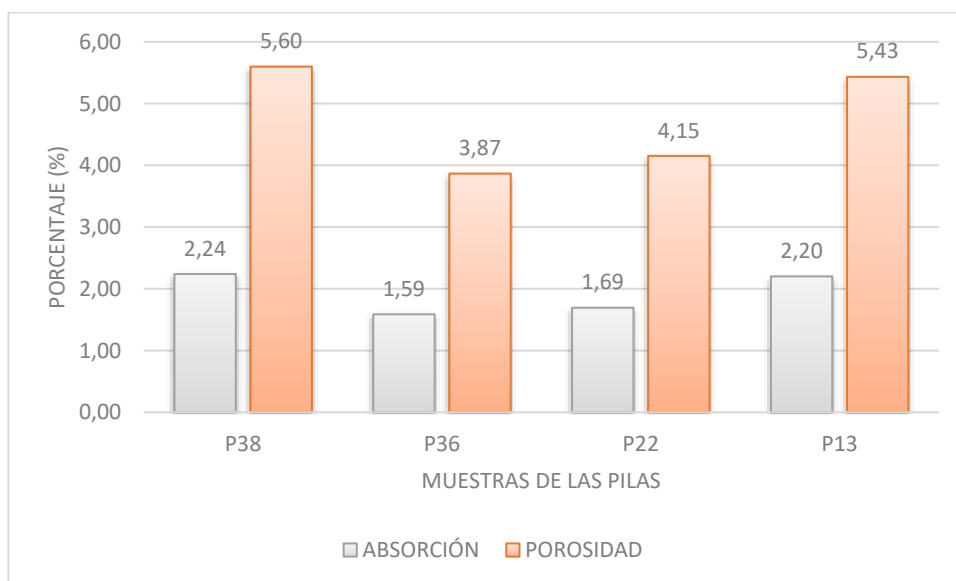
NOTA: La densidad del agua 1 gr/cm³

La absorción es directamente proporcional a la porosidad por lo cual nos podemos dar cuenta que mientras mayor es la porosidad mayor es la absorción de la muestra. En la absorción tenemos un intervalo entre el mayor y el menor de 0,65% obteniendo un promedio

de 1,93% de absorción, y en la porosidad tenemos un intervalo de 1,73% y un promedio de 4,76%.

Figura 73

Absorción y porosidad del hormigón en las pilas del puente Los Caras



Medición de la carbonatación.

Con el uso de la Fenolftaleína, nos permitirá detectar la profundidad de la carbonatación en el hormigón empleando en la construcción, pero esta técnica nos indica un valor aproximado ya que el rango de viraje del pH es de 8.2 a 9.5, debiendo notar que la corrosión se produce en intervalos de pH entre 11 y 11.5, siendo lo máximo de pH de corrosión mayor si hay una mayor cantidad de cloruros, siendo por debajo de 8.2 incoloro y encima de 10 rosado fuerte (fucsia). Para nuestro efecto tomamos la muestra de hormigón, extraído de los cabezales para lo cual la parte no carbonatada se teñirá de un color rosa-

fucsia, y la parte carbonatada solo parecerá un concreto humedecido. (Como se muestra en la imagen)

Figura 74

Medición de la carbonatación



Al emplearse la fórmula para el cálculo de la velocidad de carbonatación obtenemos los resultados expresados en la Tabla 22:

Tabla 22

Medición de la velocidad de carbonatación

Pila	Profundidad (mm)	$k = \frac{x}{\sqrt{t}} \left(\frac{mm}{año^{\frac{1}{2}}} \right)$
P35	1,49	0,47
P17	1,32	0,42

Podemos determinar que la velocidad de la carbonatación promedio de 0.445 mm/año^{1/2}.

Al emplear el ácido clorhídrico (HCl) en el hormigón, nos permitirá identificar los lugares donde ha ingresado el dióxido de carbono (CO_2), produciendo una efervescencia al desprenderse el mismo. (BLOGS Madrid, 2007).

Figura 75

Colocación del ácido clorhídrico a la probeta de hormigón



Este es un método cualitativo que nos permite identificar la presencia del carbonato, y no la cantidad que se encuentran en el hormigón. Se puede identificar en forma visual que la efervescencia se da únicamente en la cara que tenía contacto directo con el agua del estuario del Río Chone.

Medición del Ph

La carbonatación del hormigón afecta el pH, que reaccionan con los componentes del cemento y el dióxido de carbono, haciendo descender su pH. Mediremos mediante la lixiviación, que consiste en mezclar el polvo de cemento con agua en la relación 1:1,

revolviendo en las planchas y dejando reposar para luego ser medido mediante el empleo del pHmetro digital.

Figura 76

Medición con el Phmetro



Si el valor de pH es menor existe una mayor velocidad de corrosión, siendo la capacidad de neutralizar ácidos de una disolución, el pH del hormigón debe encontrarse entre 12,5 y 13,5, para la protección del acero de las armaduras internas, al ser el hormigón un material de naturaleza porosa en su interior se encuentra disueltos los hidróxidos de calcio, sodio y potasio. De lo cual obtenemos los resultados expresados en la Tabla 23.

Tabla 23

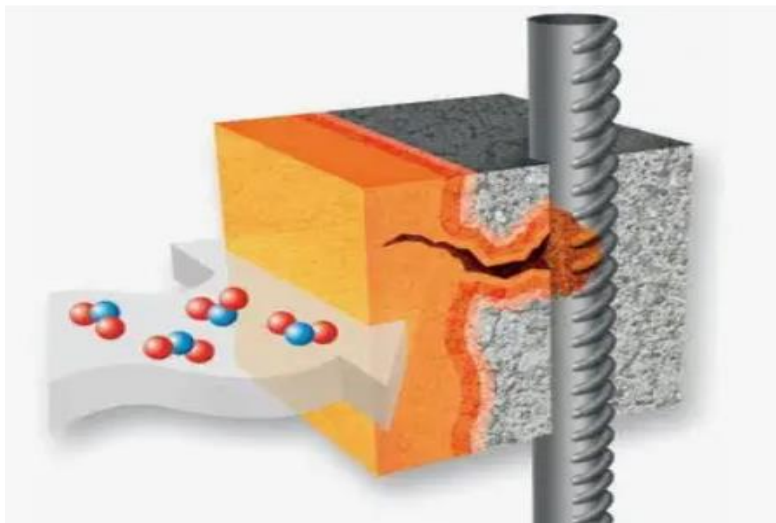
Medidas del Phmetro

Pila	Nivel de PH
P38	12,05
P36	12,30
P22	10,00
P13	11,71
P9	11,36
Promedio	11,48

El pH de las muestras es inferior a 12,5 lo que nos determina que el hormigón armado está perdiendo su capacidad protectora, lo que permite que las armaduras internas se oxiden (como se indica en la imagen)

Figura 77

Acción de la Carbonatación



Nota: Tomado de RTarquitectura, 2016

Medición de la compresión.

De acuerdo a la norma ASTM C42 para obtener el factor de corrección de acuerdo a la relación L/D (largo/diámetro), ASTM C49 de la obtención de pruebas de núcleos perforados y vigas de hormigón acerradas, esta prueba es utilizada cuando se desea conocer la intensidad de la estructura a ser analizada. La resistencia del hormigón al ser afectada por la ubicación en la estructura y también en la orientación de la misma.

La resistencia del hormigón medido por las pruebas de núcleos se ve afectado por la humedad, a lo cual no existe un procedimiento estándar para que se encuentre en las

condiciones idénticas a la de la estructura. Tomamos las medidas de los testigos, cotejamos los factores de corrección que necesitamos para cada uno de los mismos de acuerdo a las medidas y confirmamos la carga máxima que soporta cada uno de los mismos.

Realizamos la interpolación de los factores de corrección, como se muestra en la siguiente Tabla 24.

Tabla 24

Interpolación del factor de corrección

Pila	(L/D)	Factor
factor 3	1,25	0,93
factor 4	1,00	0,87
P10	1,01	0,87
P11	0,76	0,81
P15	0,94	0,86
Promedio	0,90	0,85

Figura 78

Cilindro en la máquina de compresión estándar y cilindro luego de soportar la carga máxima



De acuerdo a los ensayos realizados obtuvimos los resultados detallados en la Tabla 25, lo cual establece los esfuerzos del hormigón.

Tabla 25*Medidas de testigos y carga máxima soportada*

PILA	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Factor de corrección	Peso (gr)	Área (cm²)	Carga Máxima (kg)
P10	6,80	6,74	1,01	0,87	569,30	35,68	20404,75
P11	5,20	6,88	0,76	0,81	516,20	37,18	20304,45
P15	6,40	6,81	0,94	0,86	423,70	36,42	20229,65
PROMEDIO	6,13	6,81	0,90	0,85	503,07	36,43	20312,95

Establecemos los esfuerzos máximos mediante la relación de Fuerza con respecto al área de acción del testigo, transformamos a psi dividiendo para 0,07 para poder emplear la fórmula del módulo de elasticidad y comparar con los resultados de MPa. Determinamos los cálculos de los Esfuerzos que se pueden observar en la Tabla 26.

Tabla 26*Cálculo de esfuerzos*

PILA	Esfuerzo Máximo(psi)	Esfuerzo Máximo(kg/cm²)	Esfuerzo Máximo con factor de corrección (kg/cm²)
P10	7125,38	571,90	498,78
P11	6330,81	546,17	443,16
P15	6788,16	555,40	475,17
PROMEDIO	6744,55	557,82	472,12

Los cilindros al ser sometidos a la, máxima carga de esfuerzo, presentaron fallas tipo columna, mostrando un alto grado de resistencia a la compresión:

Figura 79

Cilindros sometidos a compresión



Calculamos el módulo de elasticidad y la deformación que los testigos, para determinar si cumplen con las condiciones iniciales de diseño o si cambiaron por el contacto con las aguas del estuario del Río Chone. Con el empleo de las ecuaciones citadas en el anterior capítulo, podemos determinar el máximo módulo de elasticidad, como podemos observar en la Tabla 27.

Tabla 27

Cálculo del módulo de elasticidad.

PILA	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		
	$E_c = 4700 * \sqrt{f'c} * 10$	$E_c = Wc^{1.5} * 0,14 * \sqrt{f'c}$	$E_c = 15100 * \sqrt{f'c}$
P10	355433,75	367618,98	337232,93
P11	347344,23	346516,08	317874,32
P15	350267,62	358814,43	329156,13
PROMEDIO	351015,20	357649,83	328087,79

En la Tabla 28 se observa la deformación de las probetas de acuerdo a los módulos de elasticidad calculados.

Tabla 28

Deformación

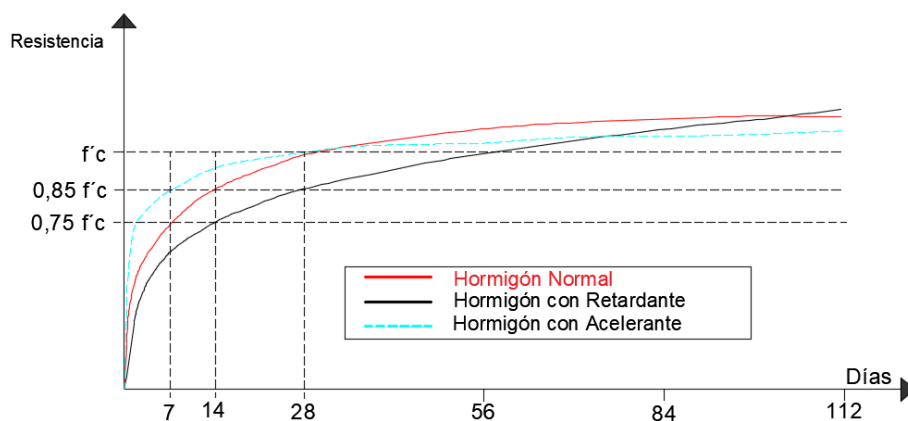
Pila	Deformación (cm)		
	$\Delta = PL/AE$		
P10	0,0109	0,0106	0,0115
P11	0,0082	0,0082	0,0089
P15	0,0101	0,0099	0,0108
Promedio	0,0098	0,0096	0,0104

Los resultados cumplen con las características iniciales del hormigón el cual fue diseñado con una resistencia de 350 kg/cm², la cual se obtuvo a los 7 días de la fundición, lo cual se determina por el uso de acelerantes, pero debemos aclarar que el acelerante a corto plazo genera una mayor resistencia y menor porosidad, pero al paso del tiempo este no

llega al máximo de la resistencia del hormigón como lo haría un hormigón que no haya sido elaborado con acelerantes, lo cual puede verificarse en la siguiente gráfica.

Figura 80

Resistencia del hormigón con retardante, acelerante y normal



Al ser diseñado con una resistencia de 350 kg/cm^2 , debido al uso de acelerante, se establece que el hormigón llegara a una resistencia del 420 kg/cm^2 .

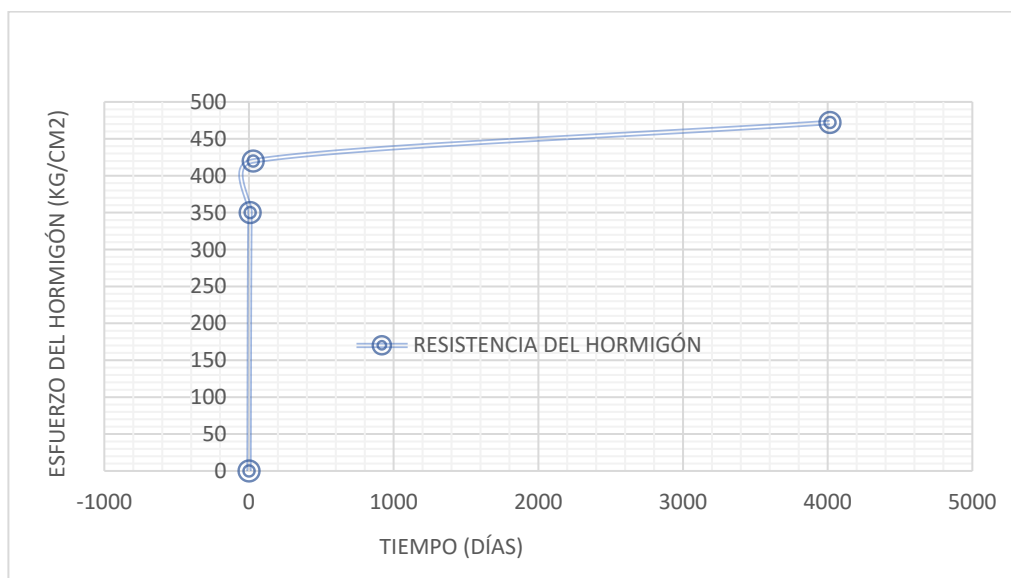
Tabla 29

Aumento de la dureza del hormigón con respecto a su fabricación

Pila	Esfuerzo Máximo con factor de corrección (kg/cm^2)	Esfuerzo de diseño del hormigón (kg/cm^2)	Porcentaje de Dureza (%)
P10	498,78	420	118,76
P11	443,16	420	105,51
P15	475,17	420	113,14
Promedio	472,12	420	112,41

Figura 81

Resistencia calculada del hormigón



Tomando en cuenta el promedio de la resistencia del hormigón tenemos 472,12 kg/cm², lo cual corresponde al 112,41 %, con un 12,41% más de lo que se esperaba que se tenga la resistencia del hormigón y 34,89 % mayor del porcentaje de diseño de 350 kg/cm².

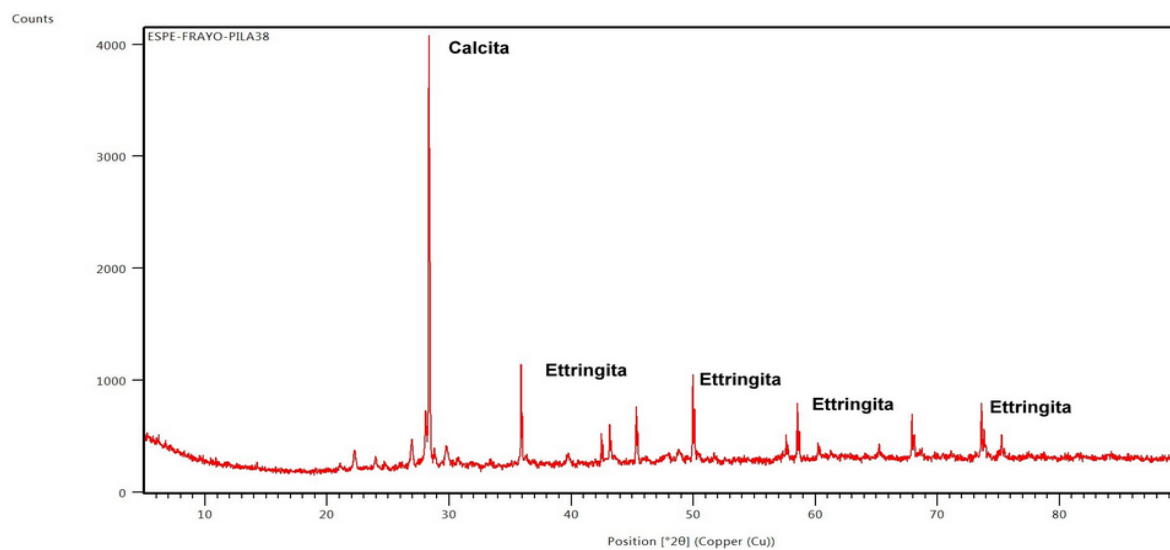
Análisis de XRD difractometría de rayos x, espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido.

XRD Difractometría de rayos X: para la realización de este análisis se deben tomar en cuenta de acuerdo a investigaciones los patrones cristalográficos de los diferentes compuestos que debido al porcentaje de elementos obtenidos en el SEM- EDS nos permitirán establecer la patología de degradación que está teniendo el hormigón y el acero.

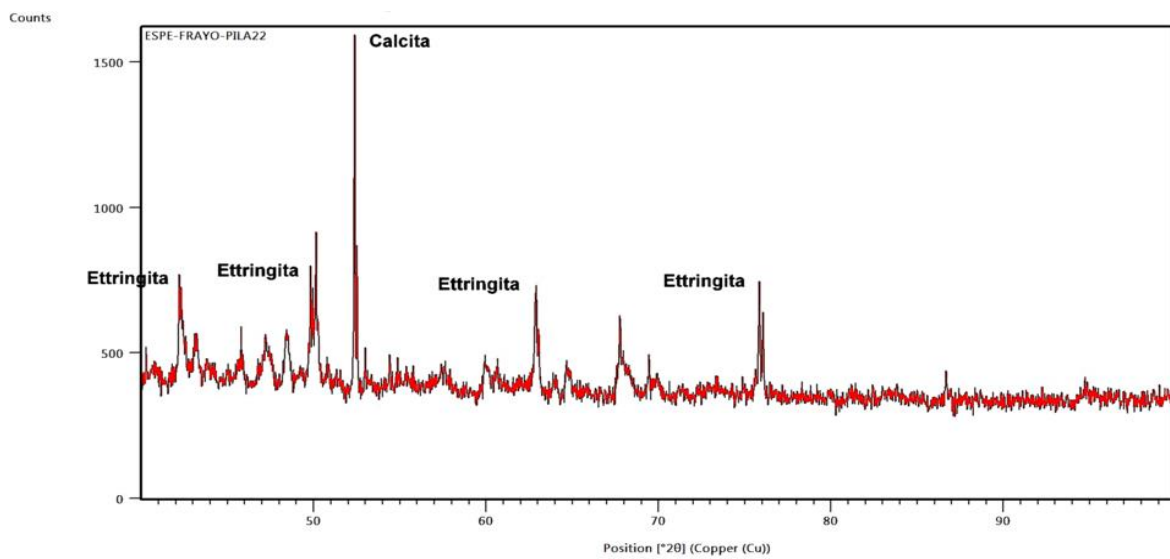
En el hormigón se obtuvo:

Figura 82

Primer análisis de difracción de rayos X

**Figura 83**

Segundo análisis de difracción de rayos X



Espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS.

Figura 84

Muestra cabezal de pilote N° 22 parte expuesta al ambiente marino.

Elemento	norm. wt. %	Error in wt. % (1Sigma)
Carbono	7,083	0,566
Oxígeno	52,008	5,826
Sodio	5,088	0,175
Magnesio	1,178	0,097
Aluminio	8,989	0,501
Silicio	18,087	1,066
Azufre	0,115	0,030
Cloro	0,069	0,028
Potasio	1,124	0,062
Calcio	6,158	0,062
Titanio	0,499	0,040
Hierro	3,426	0,208
Cabezal de Pilote N° 22		

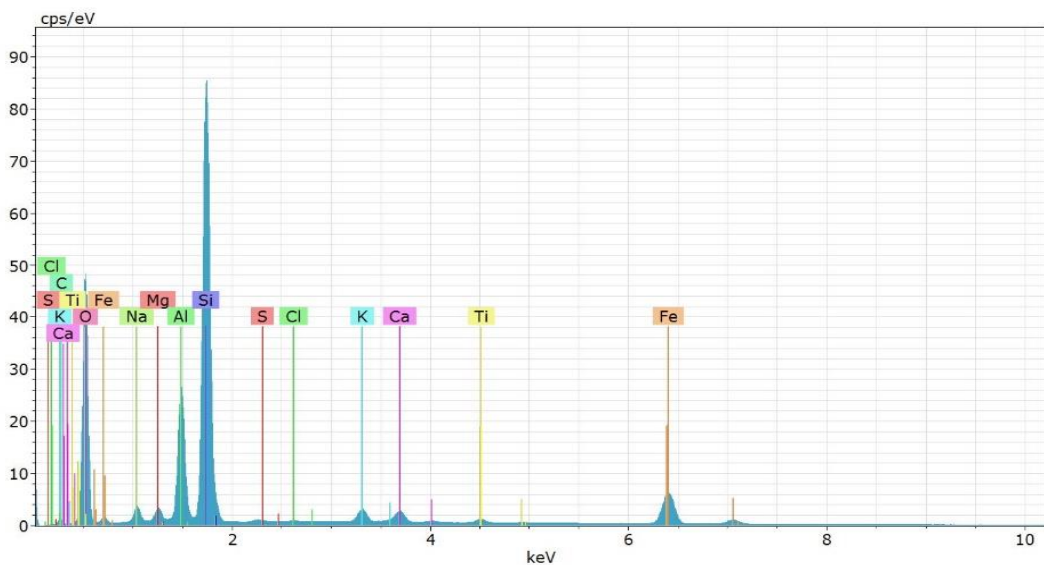
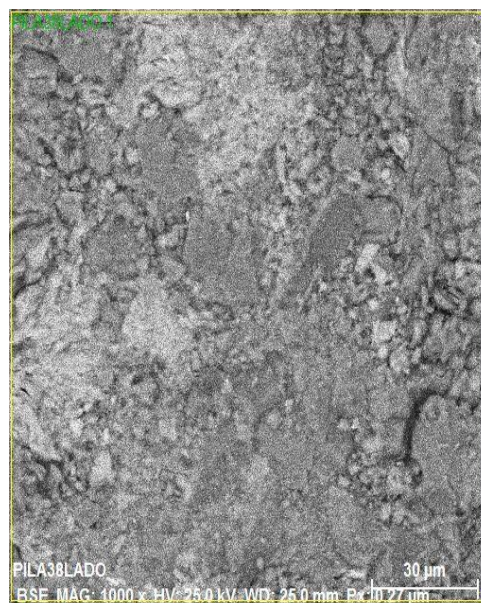
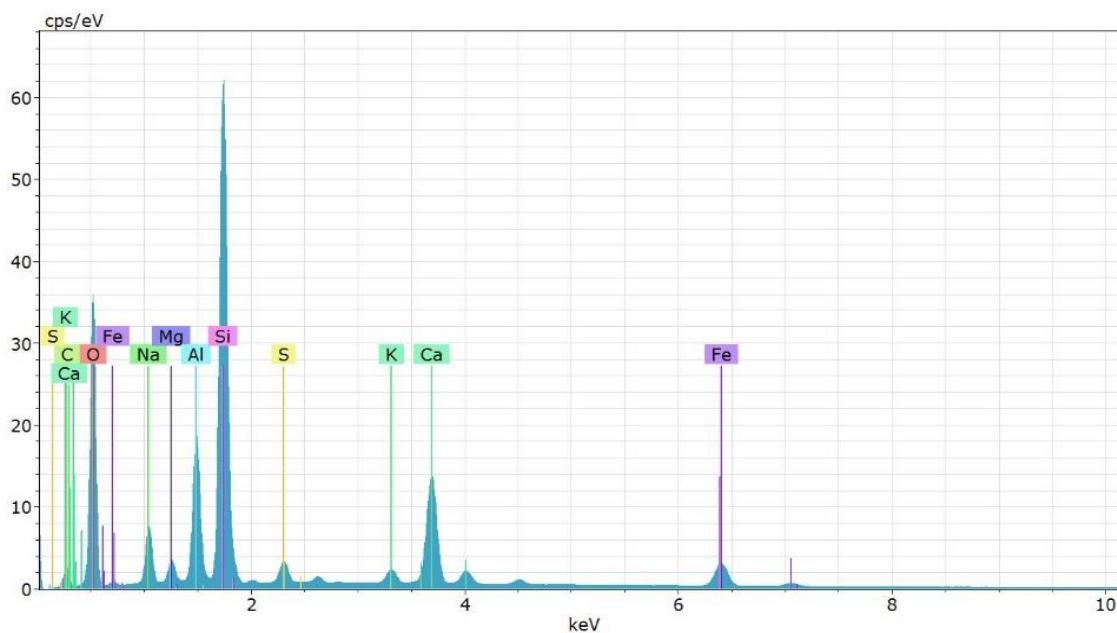
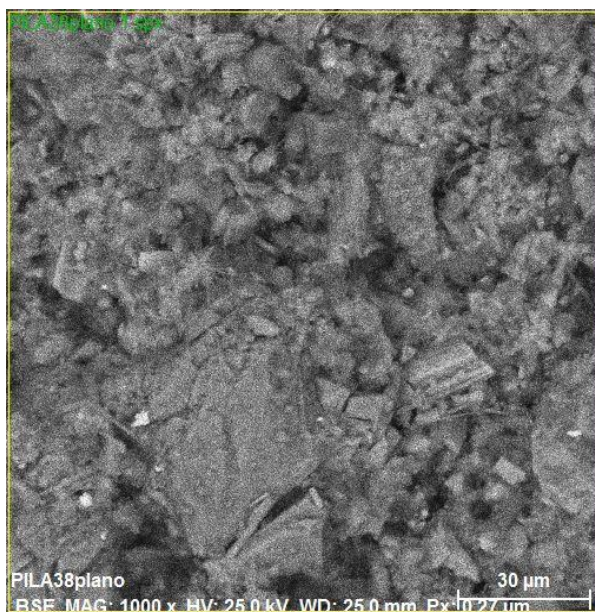


Figura 85

Muestra cabezal de pilote N° 38 parte expuesta al ambiente salino

Elemento	norm. wt. %	Error in wt. % (1Sigma)
Carbono	8,021	0,814
Oxígeno	51,620	4,565
Sodio	4,576	0,283
Magnesio	1,143	0,080
Aluminio	6,424	0,292
Silicio	15,960	0,615
Azufre	0,845	0,051
Cloro	0,054	0.01984
Potasio	0,672	0,042
Calcio	7,158	0,202
Titanio	0,357	0,029
Hierro	3,581	0,103

Cabezal de Pilote N°38



Microscopía electrónica de barrido.

Tenemos los siguientes resultados en la cara expuesta al ambiente marino

Figura 86

SEM de cabezal de pilote 22 parte expuesta al ambiente salino.

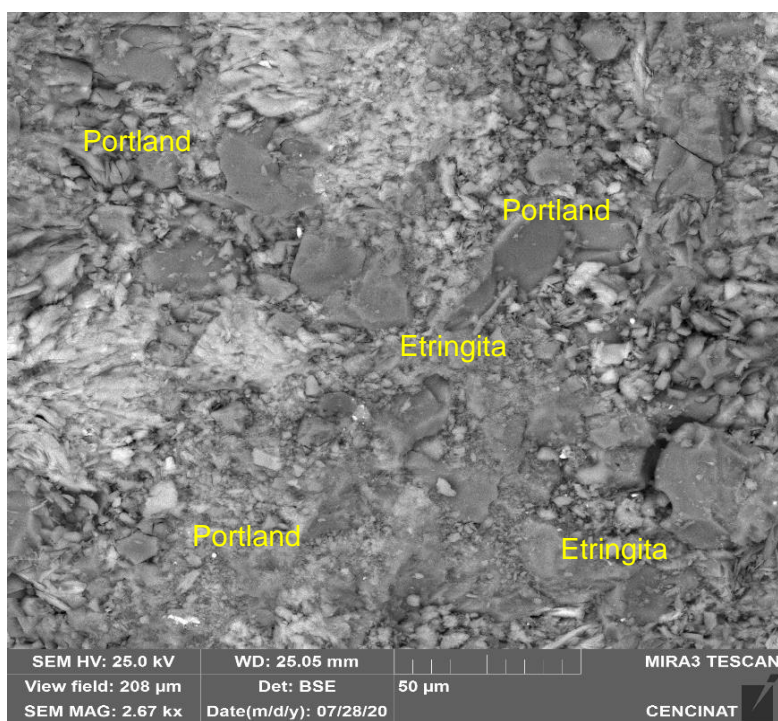
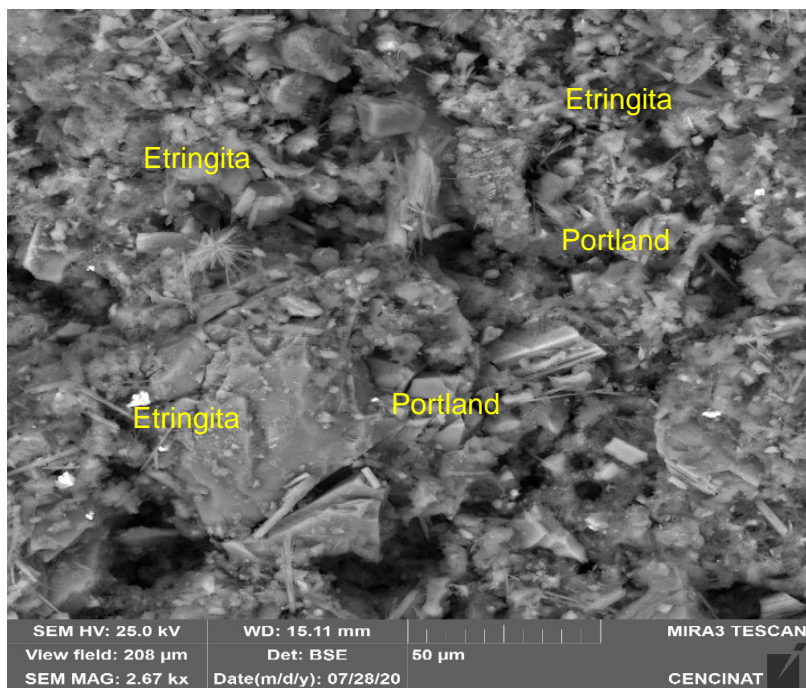


Figura 87

SEM de cabezal de pilote 38 parte expuesta al ambiente salino



Resultados de ensayos realizados al acero

Medición de la corrosión.

Para esta prueba se emplearon dos métodos de limpieza de la probeta de acero, el método mecánico del cual se realizaron dos tipos de limpieza (la primera que se removió la parte que se encontraba la corrosión superficial y la segunda que se llegó hasta la profundidad notoria de los agujeros afectados por la corrosión), y el químico (del cual se efectuó la limpieza con agua regia hasta que se pudo ver libre la carpeta superficial del

metal). Ante el análisis visual para determinar el tipo de picadura se han desarrollado elíptica (Elíptica) y ancha poco profunda (Wide Shallow), causado por la corrosión intergranular.

En la evaluación de las picaduras mediante los gráficos estándar para calificar la muestra del acero del encamisado de los pilotes del Puente Los Caras es A-5, B-3, C-3, lo que representa una densidad 5×10^5 pits/m², un ancho promedio de 8.0 mm², y una profundidad media de cada picadura de 1.6 mm.

En el análisis mediante pérdida de peso, en la cual primero debemos obtener la densidad del acero A588, teniendo en cuenta que la densidad media del acero es de 7850 kg/m³ o 7,85 gr/cm³, lo cual se puede evidenciar en la Tabla 30.

Tabla 30

Medidas y peso de los testigos

Ensayo	Pila	Base (m)		Base prom (cm)	altura (m)		Alt. prom (cm)	Área planc H (cm ²)	Esp. (cm)	Peso inicial (gr)
		1	3		2	4				
Mec.	9	0,095	0,099	9,705	0,156	0,101	12,832	124,530	2,000	1566,700
	41	0,099	0,099	9,899	0,100	0,099	9,950	98,495	2,000	1538,460
Quim.	13	0,100	0,100	9,990	0,101	0,100	10,044	100,344	2,000	1598,590
	39	0,100	0,101	10,039	0,099	0,100	9,945	99,833	2,000	1539,370
Mec.	15	0,099	0,100	9,961	0,100	0,100	9,961	99,222	2,000	1533,630
con E.I.	18	0,099	0,100	9,938	0,100	0,100	9,960	98,978	2,000	1558,720

Se procede a calcular la densidad media del acero y la diferencia de masas luego de realizar las respectivas limpiezas de los testigos:

Tabla 31*Cálculo de densidad y diferencia de masas de los testigos*

Ensay	Pila	Den.	Peso final (gr)		Dif. post. (gr)	Dif. ant. (gr)	Total (gr)
		(gr/cm ³) $D = \frac{m}{v}$	Cara post.	Cara ant.			
Mec.	9	6,290	1562,730	1560,970	3,970	1,760	5,730
	41	7,810	1535,660	1533,260	2,800	2,400	5,200
Quim.	13	7,966	1578,280		20,310		20,310
	39	7,710	1489,090		50,280		50,280
Mec.	15	7,728	1490,090		43,540		43,540
Con E.I.	18	7,874	1491,090		67,630		67,630

Al emplear la fórmula y tomando en cuenta las dimensiones para el uso de la constante, para obtener la respuesta en milímetros por año usaremos como valor de $K=8.76 \times 10^4$, que de acuerdo a los resultados obtenidos serán comparados con las medidas tomadas de los testigos luego de haber realizado la respectiva limpieza y medidas con el micrómetro y el ultrasonido digital, para tener una mayor aproximación y mejor percepción de los resultados de la fórmula con el desgaste que la placa de acero ha tenido en los once años, que para el tiempo se ha calculado en horas. Lo cual podemos evidenciar en la Tabla 32, en la cual sacamos la velocidad de corrosión en el caso de la limpieza manual mecánica del lado anterior y posterior y en el caso del Químico y Mecánico industrial directamente el Total.

Tabla 32*Velocidad de corrosión*

Ensayo	Pila	Factor K	$V_{corrpost} = \frac{KW}{DAT}$	$V_{corrant} = \frac{KW}{DAT}$	$V_{corrrot}$ (mm/año)
Mec.	9	87600,000	0,005	0,002	0,007
	41	87600,000	0,003	0,003	0,006
Quim.	13	87600,000		0,023	0,023
	39	87600,000		0,059	0,059
Mec. con E.I.	15	87600,000		0,052	0,052
	18	87600,000		0,079	0,079

En la Tabla 33 podemos evidenciar las mediciones con el ultrasonido, lo cual ratificará o no los resultados teóricos obtenidos en la Tabla 32:

Tabla 33*Prueba de ultrasonido*

Ensayo	PILA	MED 1	MED 2	MED 3	MED 4	MED 5	MED 6	MED 7	MED 8	PROM (mm)
Mecánico	9	19,92	19,91	19,94	19,81	19,93	19,90	19,91	19,89	19,90
	41	19,82	19,62	19,77	19,42	19,60	19,35	19,68	19,54	19,60
Químico	13	19,50	19,65	19,43	19,34	19,69	19,65	19,61	19,59	19,56
	39	18,20	17,80	18,08	18,08	18,03	18,03	18,05	18,04	18,04
Mecánico con E.I.	15	17,98	17,66	17,42	17,10	16,84	16,61	17,49	17,70	17,35
	18	19,12	19,05	19,06	19,25	19,12	19,14	19,10	19,09	19,12

En la Tabla 34 realizamos la división del desgaste en función del tiempo para poder obtener en las mismas unidades de las fórmulas empleadas por la norma, $\Delta E = \frac{Desgaste}{Tiempo}$

Tabla 34*Desgaste en función del tiempo*

Ensayo	Pila	Medida inicial (mm)	Desgaste (mm)	$\Delta E \left(\frac{\text{mm}}{\text{año}} \right)$
Mecánico	9	20,00	0,099	0,009
	41	20,00	0,400	0,036
Químico	13	20,00	0,442	0,040
	39	20,00	1,961	0,178
Mecánico con E.I.	15	20,00	2,650	0,241
	18	20,00	0,884	0,080

En la tabla 35 podemos observar cómo obtenemos un Factor de picadura:

Tabla 35*Obtención del factor de picadura*

Ensayo	Pila	Desgaste (mm)	Promedio (mm)	Factor de picadura	Promedio de Factor
Mecánico	9	0,10	1,07	0,092	0,23
	41	0,40		0,373	
Químico	13	0,44		0,413	1,12
	39	1,96		1,828	
Mecánico con E.I.	15	2,65		2,470	1,65
	18	0,88		0,824	

Al realizar la comparación de la profundidad de corrosión empleando las fórmulas de la norma en relación con lo que ha reducido durante los 11 años de uso y sin el debido mantenimiento a las pilas del puente, hemos encontrado una diferencia que se detalla a continuación en la Tabla 36.

Tabla 36*Diferencias de resultados entre teóricas y prácticas*

Pila	$\Delta E \left(\frac{mm}{año} \right)$	$V_{corr} \left(\frac{mm}{años} \right)$	Diferencia de medida y formula (mm/año)
9	0,009	0,007	0,002
41	0,036	0,006	0,030
13	0,040	0,023	0,017
39	0,178	0,059	0,119
15	0,241	0,052	0,189
18	0,080	0,079	0,001

Prueba de Impacto.

Los ensayos mecánicos nos ayudan a determinar las reacciones de los materiales a la deformación y a la rotura por acciones externas, estática (aplicación de carga gradual y lenta) y dinámica (prueba de Charpy o impacto). Para esta prueba hemos empleado el ensayo de péndulo de Charpy, a través del cual se puede conocer el comportamiento que tienen los materiales al impacto, mediante la energía potencial que absorben las probetas antes y después del impacto.

Para lo cual hemos realizado tres testigos. Que cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma ASTM y que se detalló en el capítulo anterior.

Figura 88

Testigos para la prueba de impacto



Las medidas de los testigos y los resultados los hemos plasmado en la Tabla 37 de lo cual obtuvimos la resiliencia y el módulo de elasticidad del Acero.

Tabla 37

Medidas de probetas y resultado de la prueba Charpy

Datos	Pila 11	Pila 19	Pila 35
Longitud (mm)	55	55	55
Base (mm)	10,01	10,07	10,09
Altura (mm)	8,4	8,29	8,3
Prueba de Charpy			
Ea (kg.m)	16	10,4	13
Ea (kg.m ² /s ²)	156,96	102,02	127,53
Resiliencia (julio/mm ²)	1,867	1,222	1,523

Sabemos que el acero A588 en función de su espesor debe tener una resistencia mínima la cual es aceptable de 27 Julios, a -30°C, mientras que nosotros hemos realizado a la temperatura ambiente, obteniendo la energía absorbida por la probeta superiores a lo

mínimo establecido por la norma y obteniendo una resiliencia, que es la energía de formación por unidad de volumen que se requiere para deformar nuestras probetas de acero A588, oscila entre 1 y 2 julio/mm².

Figura 89

Deformación de las probetas después de la prueba Charpy



Prueba de tracción del acero.

En esta prueba probaremos el nivel de tenacidad y plasticidad del acero A588 que ha sido empleada en las Pilas del puente Los Caras, y analizar si ha existido desgaste por corrosión u oxidación. Luego de realizar las probetas, con este método verificaremos la gráfica de tenacidad

Figura 90

Probetas para el ensayo de tracción del acero

**Figura 91**

Prueba de tracción del acero



Esta constituye en una de las pruebas más importantes para determinar el estado del acero con respecto al estado de fluencia F_y y a la resistencia a la tracción última F_u , al igual que las deformaciones unitarias y la disminución del área ya que esta determina la deformidad volumétrica. Para lo cual se ha tomado un promedio de medida de la base y altura de las probetas utilizadas y con la transformación de Kgf a Kg/cm² determinamos las características mecánicas actuales del acero A588 tipo A. Obteniendo los resultados de la Pila 19, Pila11 y Pila35 que se detallan en las Tablas 38, Tabla 39 y Tabla 40.

PILA 19

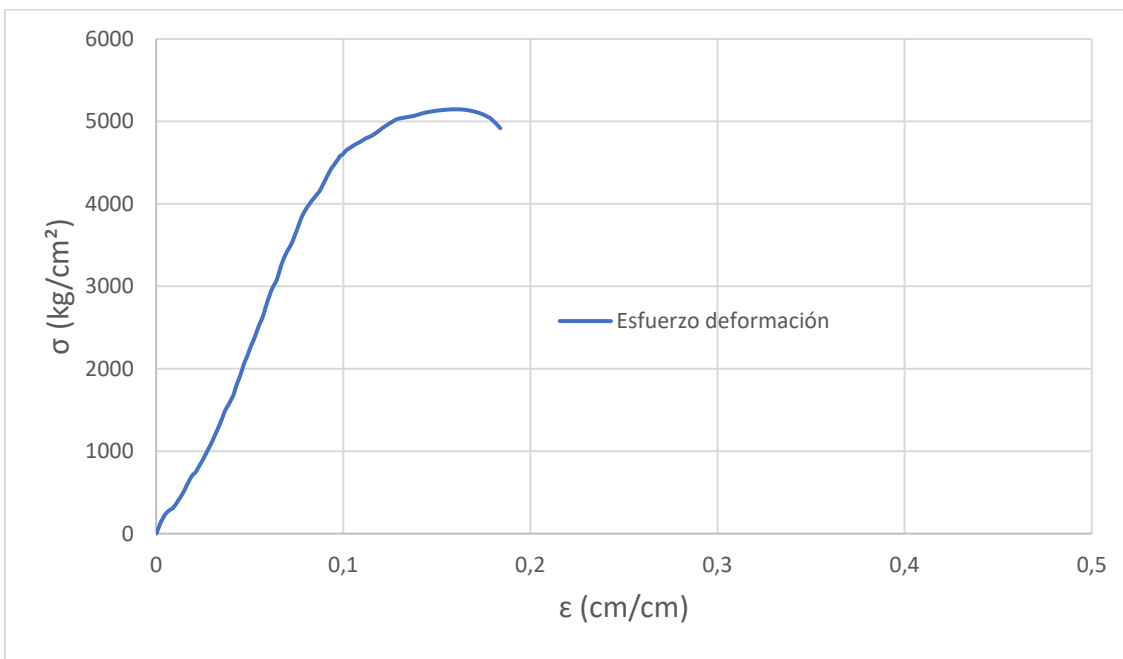
Tabla 38

Resultados de la prueba de elongación de la pila 19

Área (mm²)	Base (mm)	6,092	113,419
		5,911	
	5,981		
	Altura (mm)	18,92	
	18,92		
Elongación	$EL = \frac{Lf - Lo}{Lo}$		0,3608
		Lf (mm)	34,02
		Lo(mm)	25
Esfuerzo Máximo (kgf)	6619,899	σ máx (kg/cm²)	5146,109
Limite Elástico (kgf)	5093,982	Limite Elástico (kg/cm²)	3959,908
Fractura (kgf)	6324,771	σ ruptura (kg/cm²)	4916,686

Figura 92

Esfuerzo de deformación de la pila 19



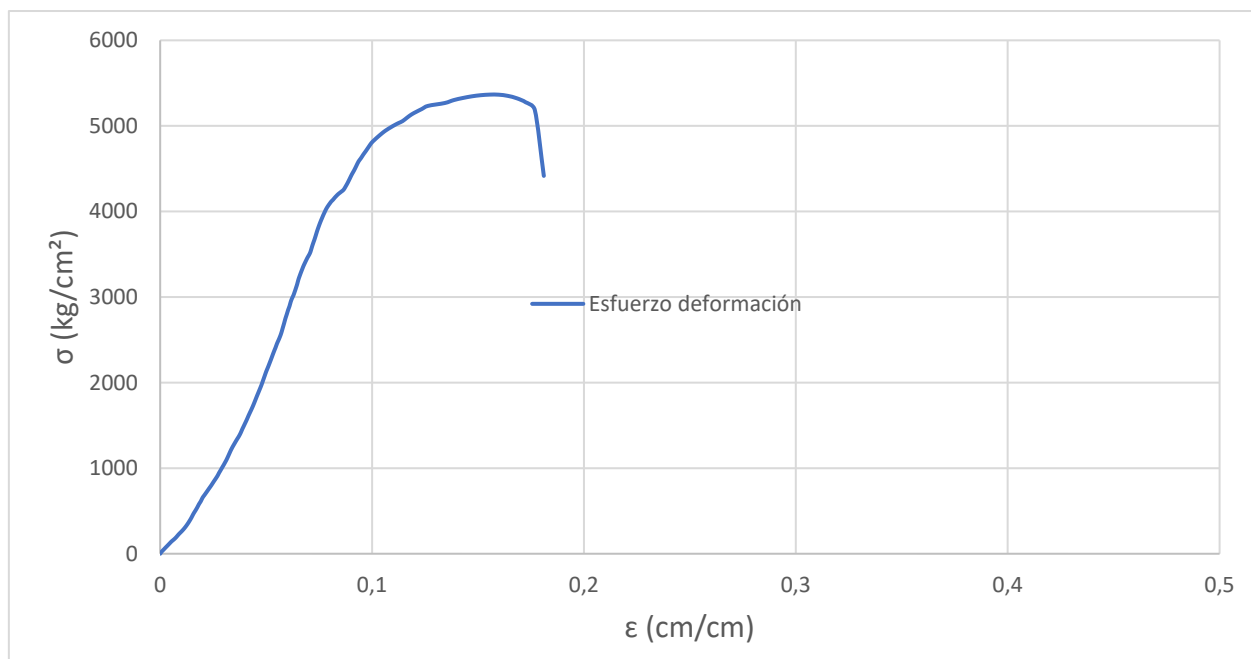
El límite elástico de la primera probeta en el ensayo es de 3959,908 kg/cm², es superior a 3515 kg/cm² que es el límite elástico y 5146,109 kg/cm² que es superior a 4421,40 kg/cm² con respecto al esfuerzo máximo que estipula la norma, y un porcentaje de elongación del 36,08%, superior 18% al exigido.

PILA 11

A continuación, se presenta en la Tabla 39 los resultados obtenidos de la Prueba Charpy de la pila 11 la cual tiene poco menor contacto que la pila 19 con la corriente del Río Chone.

Tabla 39*Resultados de la prueba de elongación de la pila 11*

Área (mm²)	Base (mm)	6,292	116,290395
		6,309	
		6,262	
	Altura (mm)	18,57	
		18,42	
Elongación	$EL = \frac{Lf - Lo}{Lo}$		0,4212
	Lf (mm)		35,53
	Lo(mm)		25
Esfuerzo Máximo (kgf)	6902,335	σ máx (kg/cm²)	5365,666
Limite Elástico (kgf)	5266,929	Limite Elástico (kg/cm²)	4094,351
Fractura (kgf)	5680,449	σ ruptura (kg/cm²)	4415,809

Figura 93*Esfuerzo deformación de la pila 11*

El límite elástico de la segunda probeta en el ensayo es de 5266,929 kg/cm², es superior a 3515 kg/cm² que es el límite elástico y 6902,335 kg/cm² que es superior a 4421.40 kg/cm² con respecto al esfuerzo máximo que estipula la norma, y un porcentaje de elongación del 42,12%, superior 18% al exigido.

PILA 35

A continuación, se presenta en la Tabla 40 los resultados obtenidos de la Prueba Charpy de la pila 35 la cual se encuentra en condiciones similares a la pila 19 analizándola desde el otro costado del Puente.

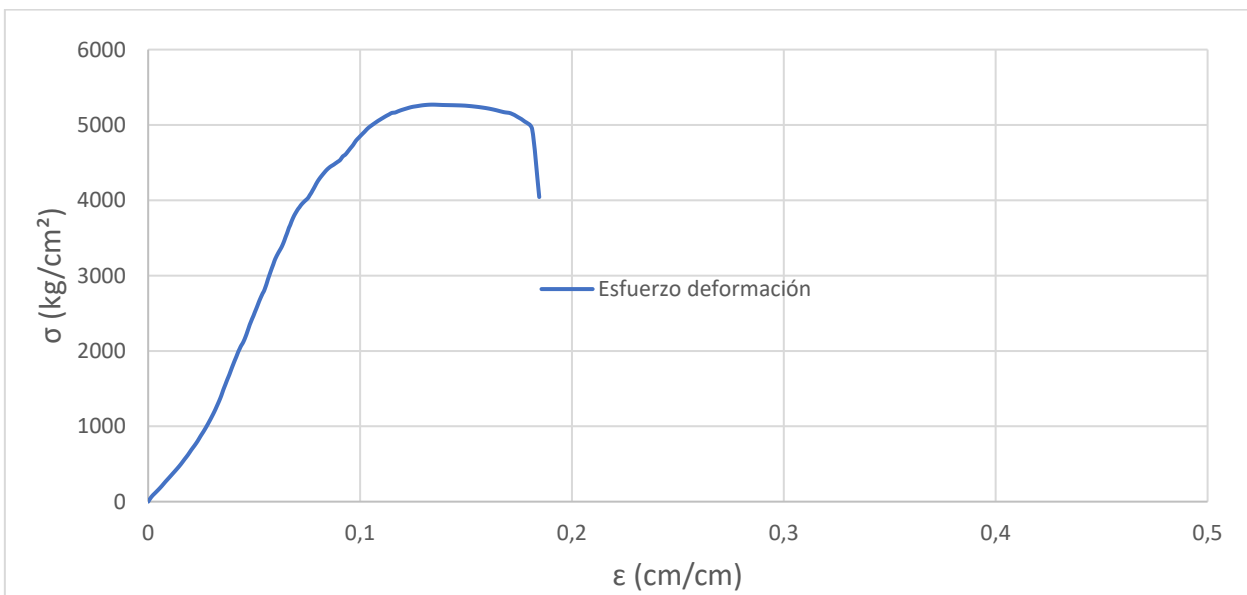
Tabla 40

Resultados de la prueba de elongación de la pila 35

		5,572	
	Base (mm)	6,123	
Área (mm²)		6,265	113,4273778
		19	
	Altura (mm)	18,94	
		18,9	
Elongación		$EL = \frac{Lf - Lo}{Lo}$	0,3932
		Lf (mm)	34,83
		Lo(mm)	25
Esfuerzo Máximo (kgf)	6779,548	σ máx (kg/cm²)	5269,446
Limite Elástico (kgf)	5058,975	Limite Elástico (kg/cm²)	3932,120
Fractura (kgf)	5201,094	σ ruptura (kg/cm²)	4042,583

Figura 94

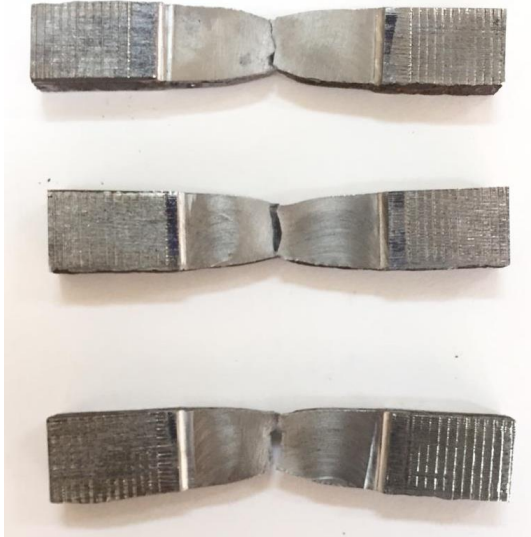
Esfuerzo deformación de la pila 35



El límite elástico de la tercera probeta en el ensayo es de 5058,975 kg/cm^2 , es superior a 3515 kg/cm^2 que es el límite elástico y 6779,548 kg/cm^2 que es superior a 4421,40 kg/cm^2 con respecto al esfuerzo máximo que estipula la norma, y un porcentaje de elongación del 39,32%, superior 18% al exigido.

Figura 95

Probetas luego del ensayo de tracción del acero



Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS y microscopia electrónica de barrido

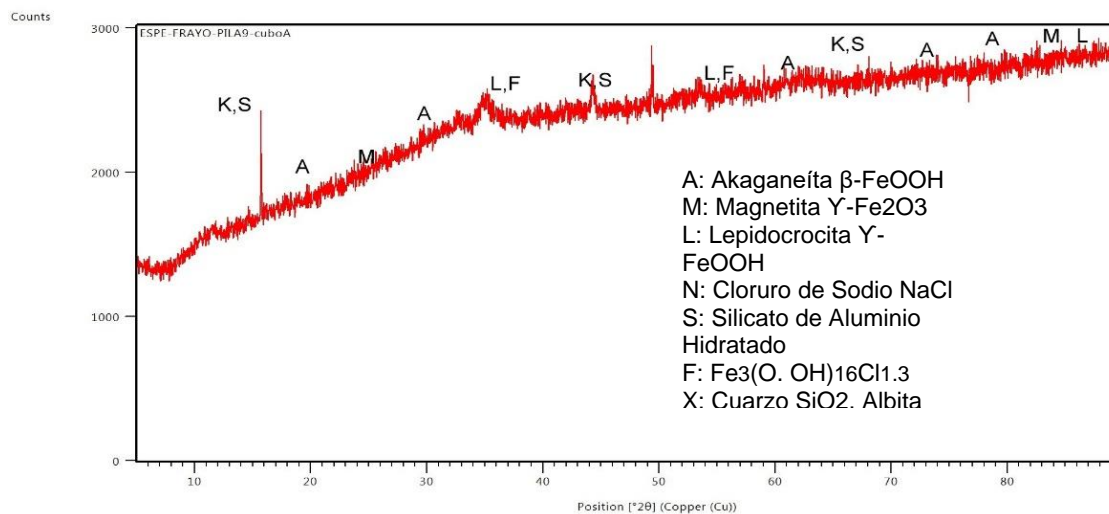
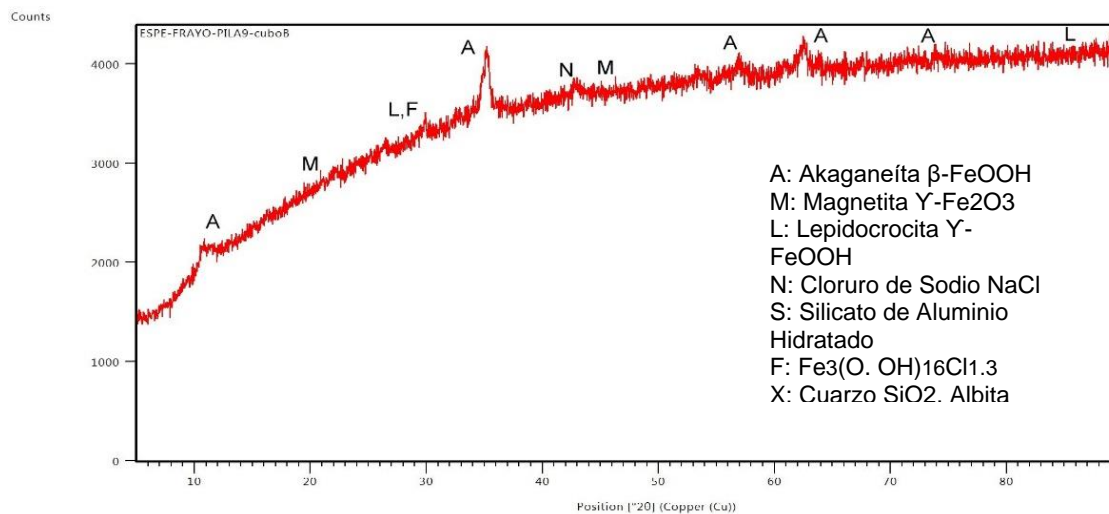
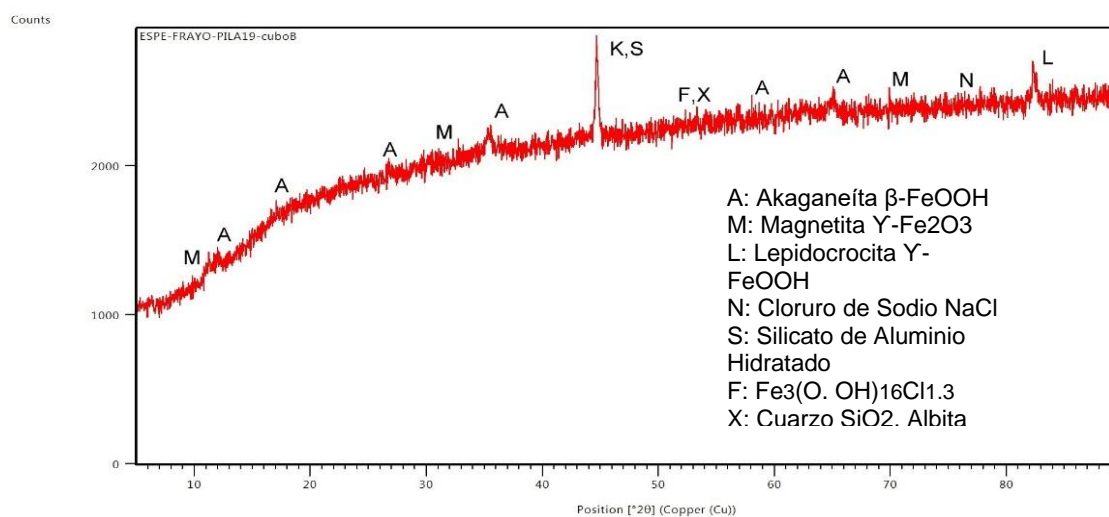
Figura 96*XRD difracción de rayos x del acero prueba 1***Figura 97***XRD difracción de rayos x del acero prueba 2*

Figura 98

XRD difracción de rayos x del acero prueba 3

**Figura 99**

XRD difracción de rayos x del acero prueba 4

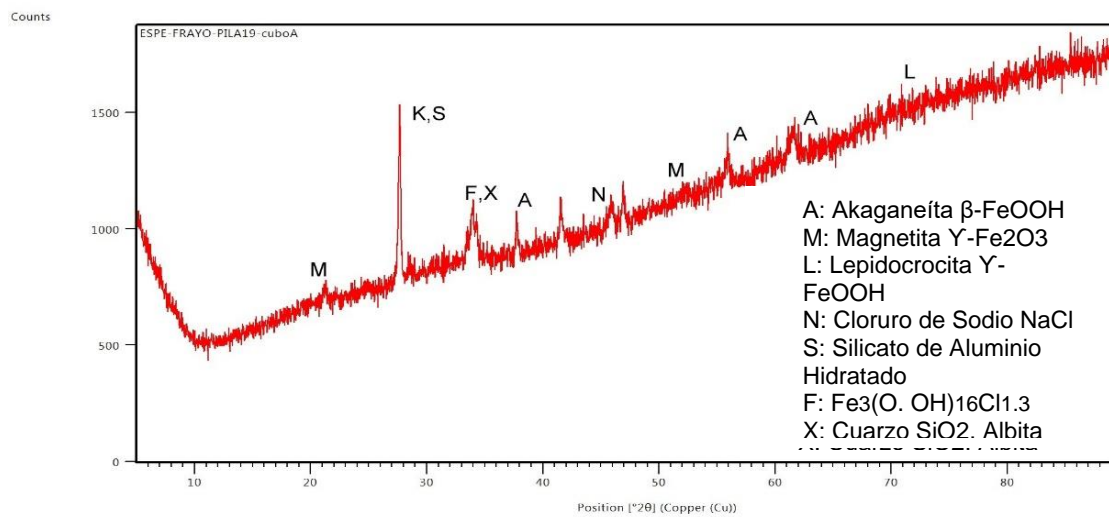
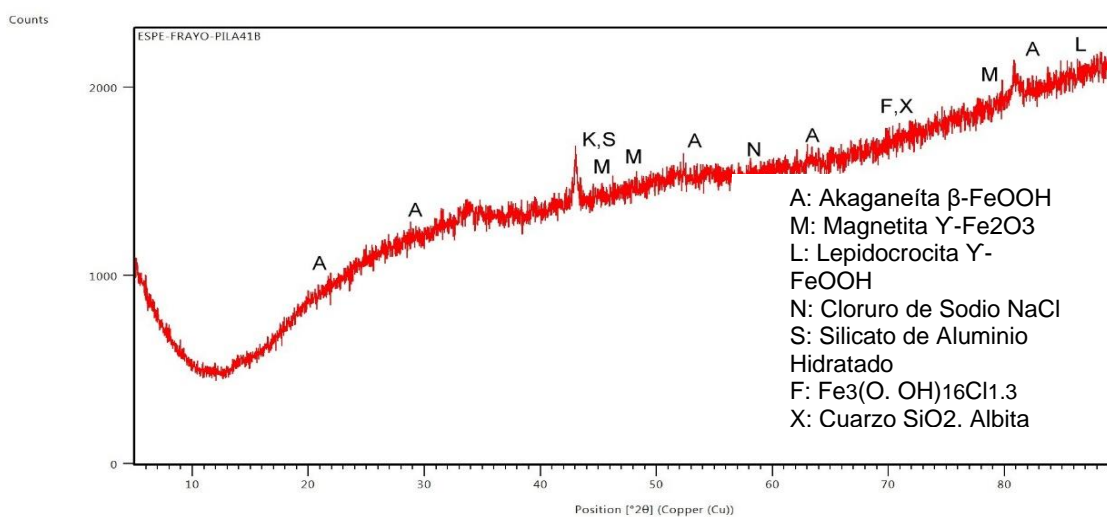
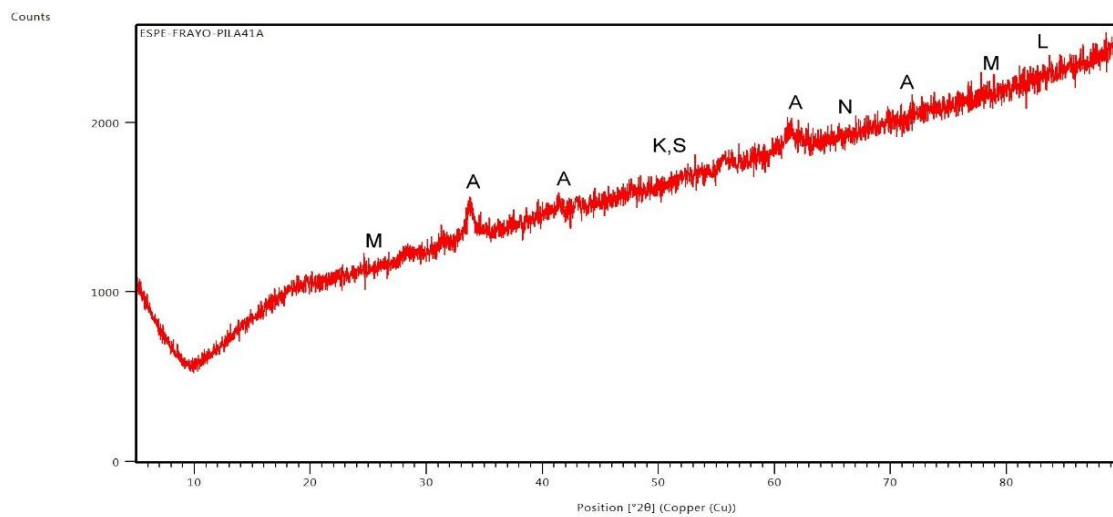


Figura 100*XRD difracción de rayos x del acero prueba 5***Figura 101***XRD difracción de rayos x del acero prueba 6*

Espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS:

Figura 102

Muestra pilote N° 09 parte expuesta al ambiente salino

Elemento	norm. wt. %	Error in wt. % (1 Sigma)
Carbono	8,7948	1,1944
Oxígeno	40,618	4,982659
Sodio	0,7684	0,086033
Magnesio	0,5071	0,059134
Aluminio	0,1443	0,033637
Silicio	0,5296	0,052419
Azufre	0,0951	0,029241
Cloro	1,6292	0,090398
Calcio	0,4655	0,0412
Cobre	0,3494	0,413
Fósforo	0,0333	0,013589
Níquel	1,8672	0,823647
Cromo	0,14	0,02952
Manganeso	0,3419	0,03568
Vanadio	0,039	0,016
Hierro	45,966	1,412088
Nitrógeno	6,510	0,191
Molibdeno	0,0157	0,003
Arsénico	0,004	0,001
Niobio	0,0055	0,0022
Pilote N° 09 parte expuesta		

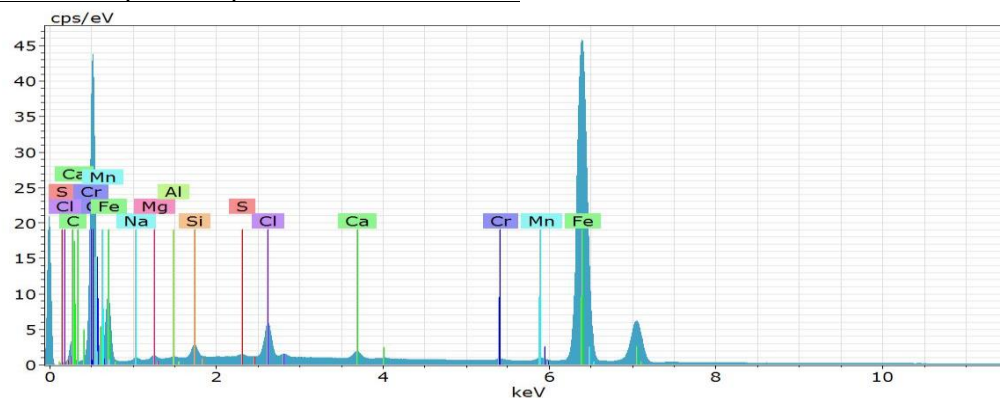
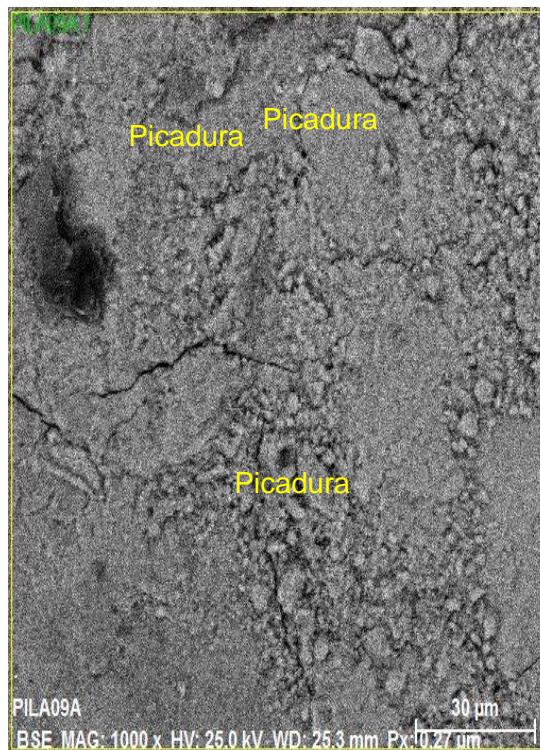


Figura 103

Muestra pilote N° 09 parte no expuesta al ambiente salino

Elemento	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1Sigma)
Carbono	9,8072	1,2726
Oxígeno	38,2121	4,5356
Sodio	1,4536	0,1359
Magnesio	0,7109	0,0711
Aluminio	0,1511	0,0337
Silicio	0,4274	0,0464
Azufre	0,1456	0,0312
Cloro	1,1284	0,0688
Calcio	0,6404	0,0465
Cobre	0,2587	0,0599
Fósforo	0,0146	0,0026
Níquel	0,2685	0,0875
Cromo	0,2007	0,0312
Manganeso	0,2928	0,0339
Vanadio	0,0219	0,0018
Hierro	36,8298	1,3914
Nitrogeno	0,0063	0,0009
Molibdeno	0,0185	0,0085
Arsénico	0,0042	0,0005
Niobio	0,0071	0,0002

Pilote N° 09 parte no expuesta

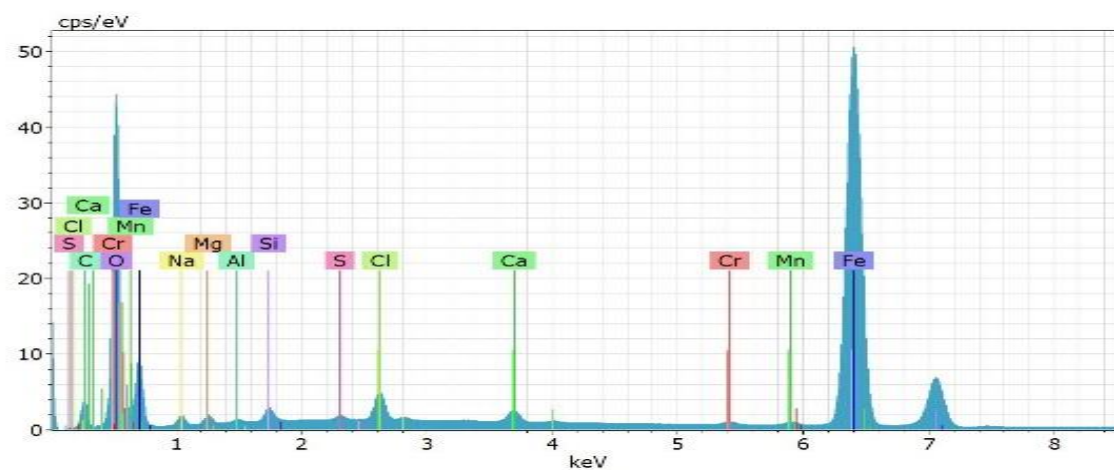
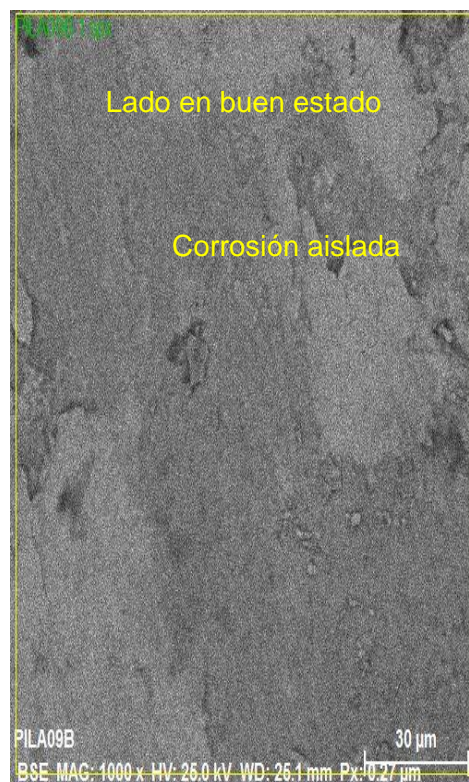


Figura 104

Muestra pilote N° 19 parte expuesta al ambiente salino

Elemento	norm. wt. %	Error in wt. % (1Sigma)
Carbono	23,733	3,199282
Oxígeno	35,394	4,639616
Sodio	3,2303	0,295037
Magnesio	2,3731	0,193116
Aluminio	0,2167	0,038565
Silicio	0,636	0,059952
Azufre	0,1152	0,030391
Cloro	0,2532	0,035919
Calcio	0,5806	0,046412
Cobre	0,4588	0,355
Fósforo	0,0135	
Níquel	1,5211	0,456897
Cromo	0,2081	0,032019
Manganeso	0,3322	0,035996
Vanadio	0,0578	0,012
Hierro	32,928	1,082151
Nitrogeno	5,358	0,230
Molibdeno	0,011	0,002
Arsénico	0,002	0,001
Niobio	0,0033	0,0018

Pilote N° 19 parte expuesta

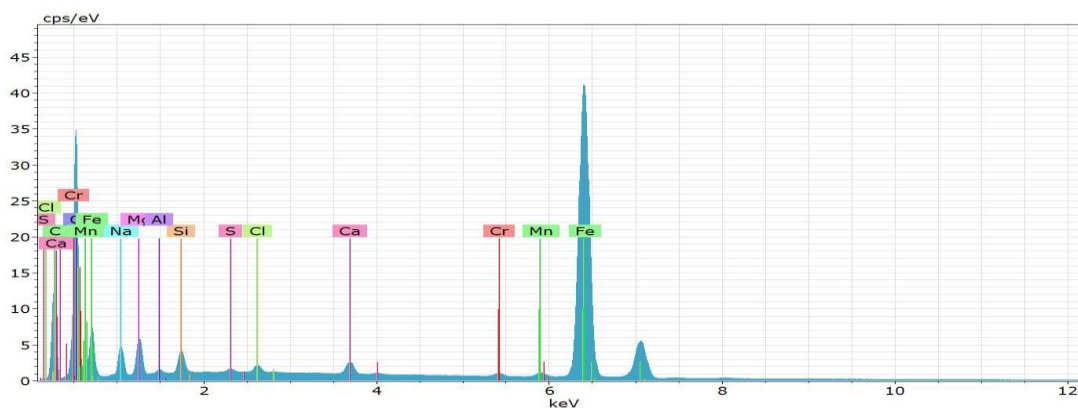
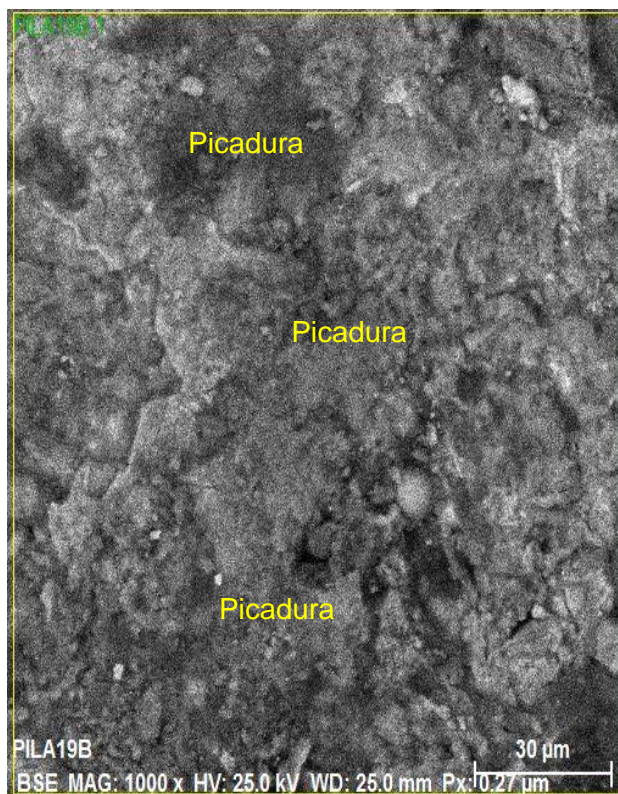


Figura 105

Muestra pilote N° 19 parte no expuesta al ambiente salino

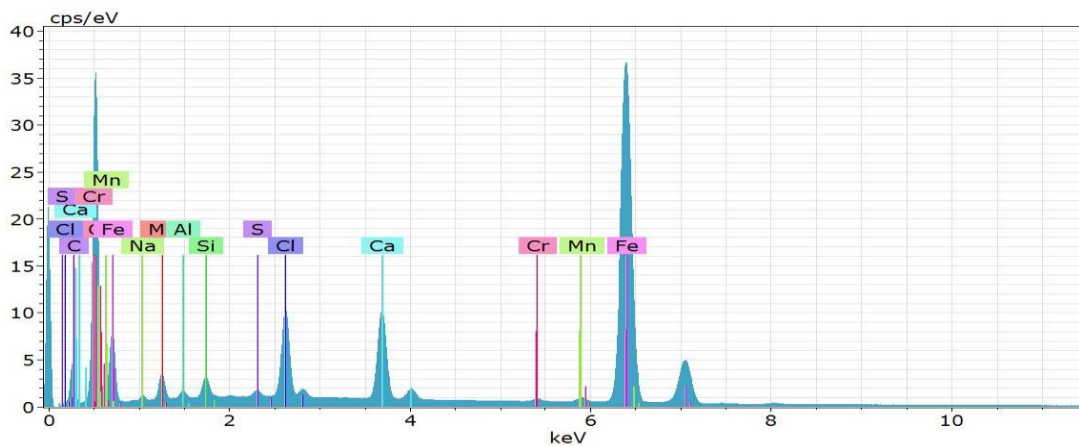
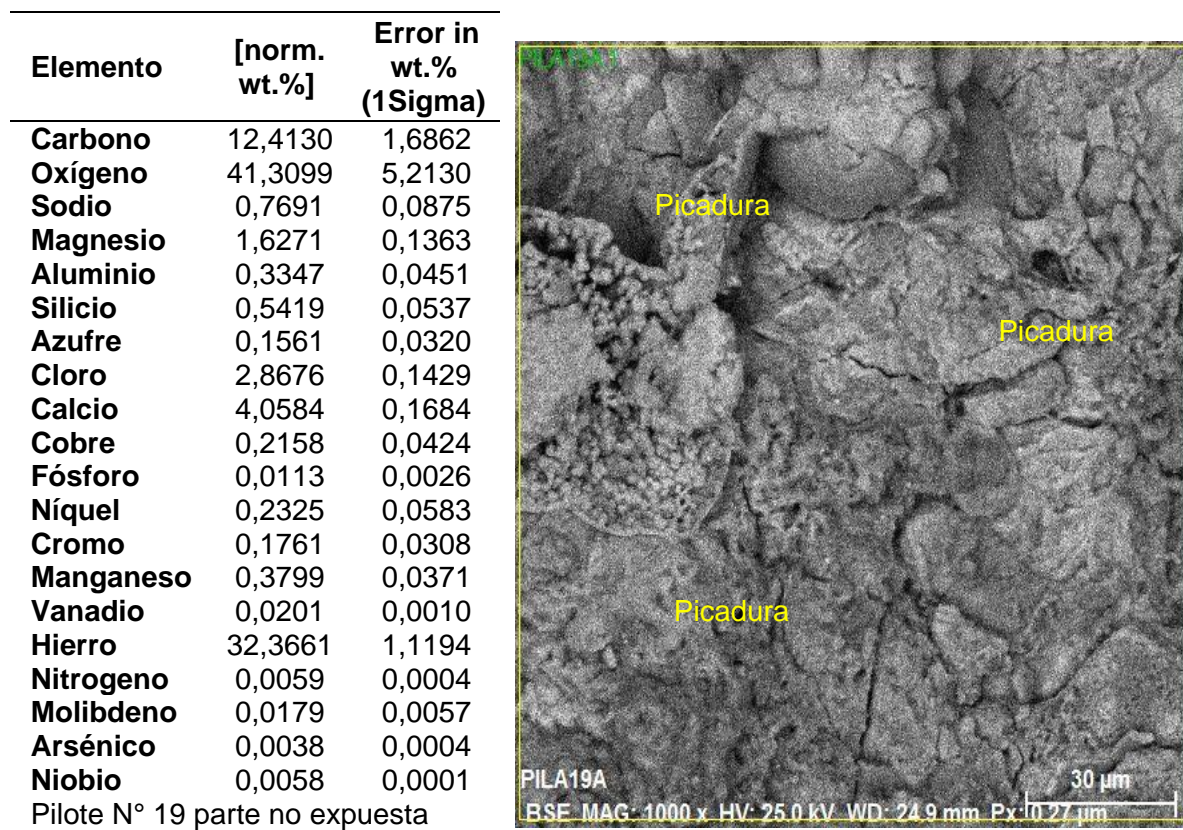


Figura 106

Muestra pilote N° 41 parte expuesta al ambiente salino.

Elemento	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1Sigma)
Carbono	9,368485	1,227632
Oxígeno	25,21984	3,026764
Sodio	2,942825	0,24851
Magnesio	0,625574	0,065606
Aluminio	0,403749	0,047863
Silicio	1,387831	0,094088
Azufre	0,009829	0,025545
Cloro	0,586336	0,047826
Calcio	0,661687	0,047151
Cobre	0,651599	0,246
Fósforo	0,016548	0,014569
Níquel	1,687515	0,758923
Cromo	0,623413	0,043812
Manganeso	0,507791	0,040196
Vanadio	0,042512	0,011
Hierro	57,66264	1,703727
Nitrogeno	7,860	0,279
Molibdeno	0,0143	0,001
Arsénico	0,003	0,001
Niobio	0,0042	0,0012

Pilote N° 41 parte expuesta

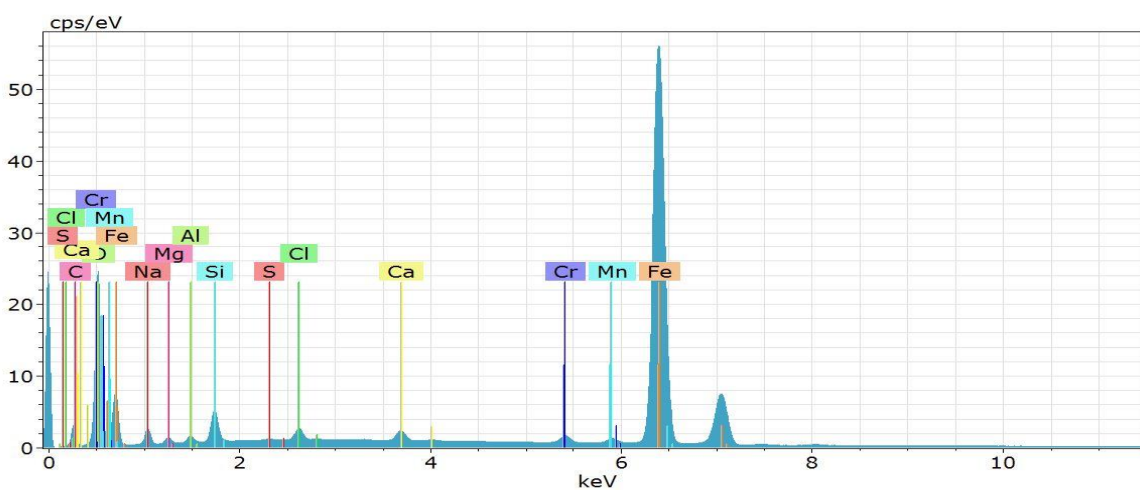
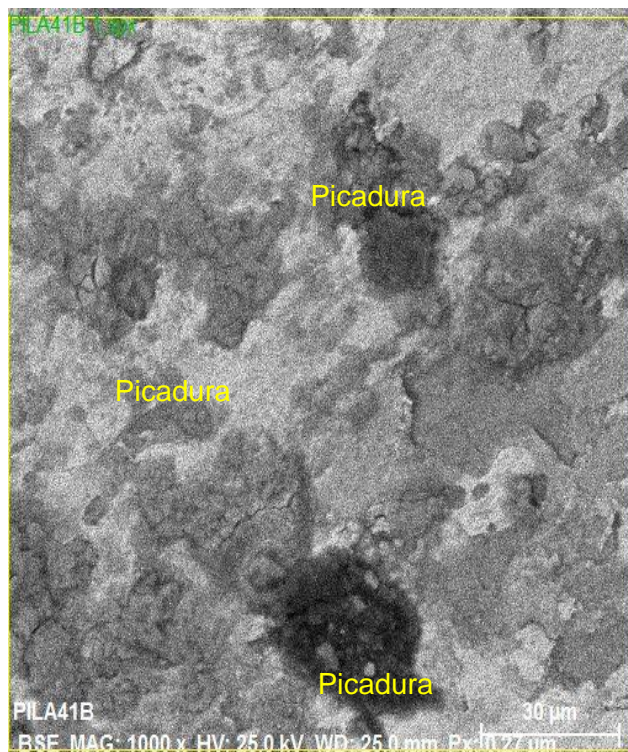
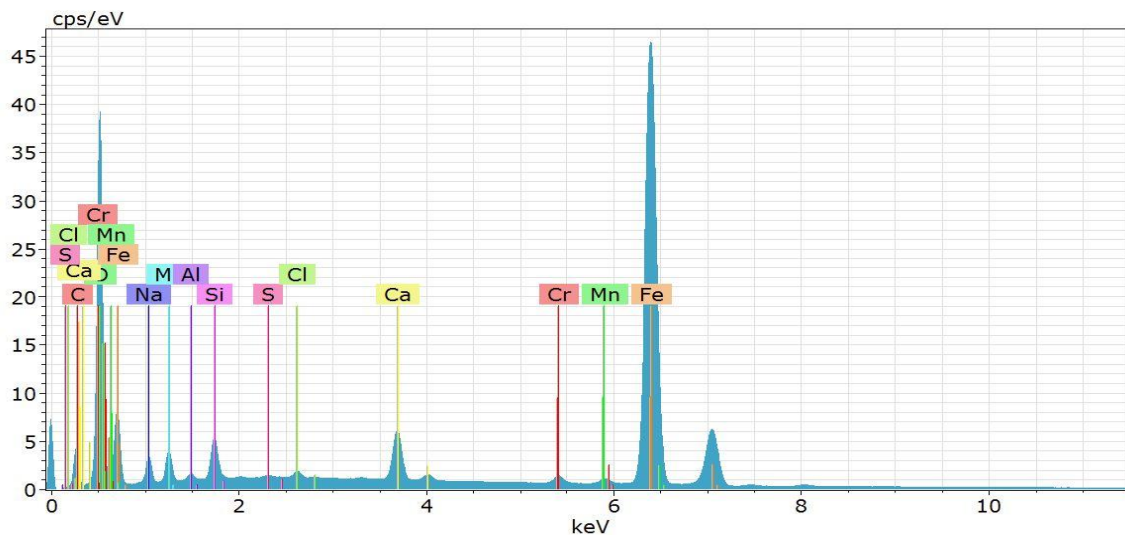
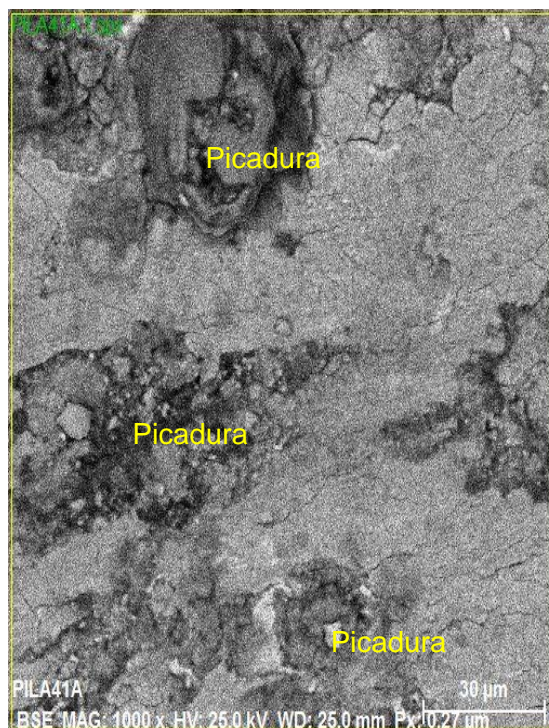


Figura 107

Muestra pilote N° 41 parte no expuesta al ambiente salino.

Elemento	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1Sigma)
Carbono	10,39121	1,376614
Oxígeno	36,98632	4,512824
Sodio	2,930813	0,253733
Magnesio	2,001241	0,15737
Aluminio	0,315931	0,043404
Silicio	1,152208	0,083988
Azufre	0,066465	0,027976
Cloro	0,206836	0,033365
Calcio	2,12897	0,097883
Cobre	0,2320	0,0599
Fósforo	0,0151	0,0036
Níquel	0,2438	0,0548
Cromo	0,432861	0,038482
Manganeso	0,347016	0,035738
Vanadio	0,0221	0,0008
Hierro	34,04012	1,313805
Nitrogeno	0,0069	0,0001
Molibdeno	0,0192	0,0065
Arsénico	0,0046	0,0003
Niobio	0,0077	0,0002

Pilote N° 41 parte no expuesta



Microscopia electrónica de barrido.

Figura 108

SEM de pilote 09 parte expuesta al ambiente salino

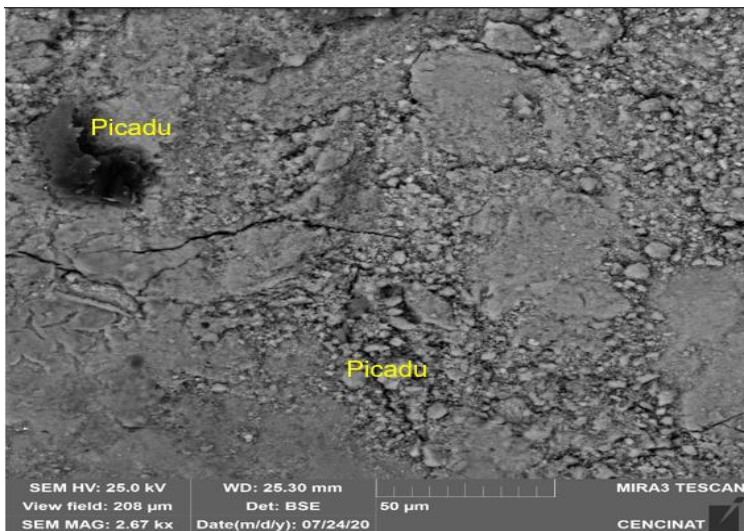


Figura 109

SEM de pilote 09 parte no expuesta al ambiente salino

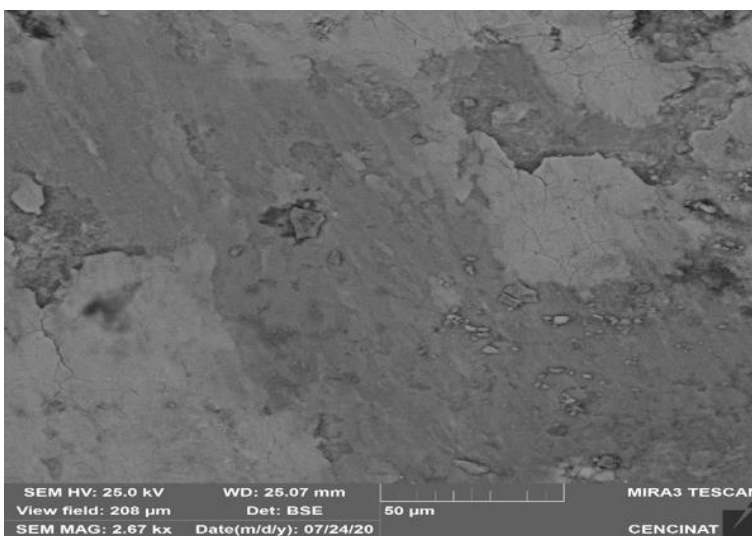
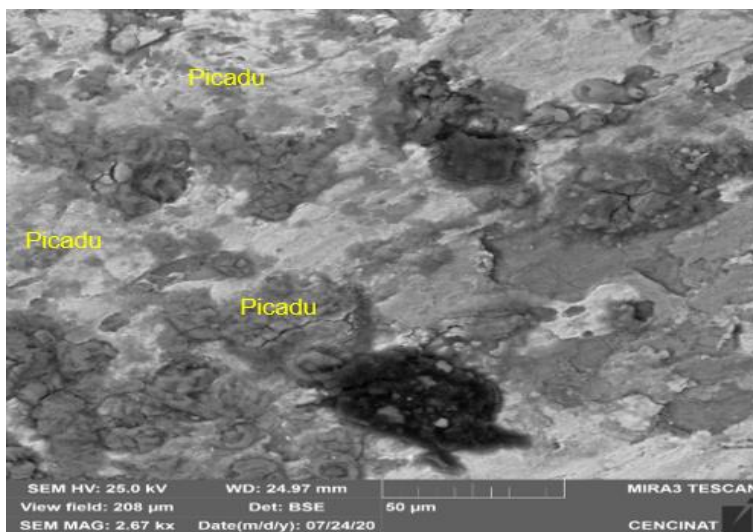
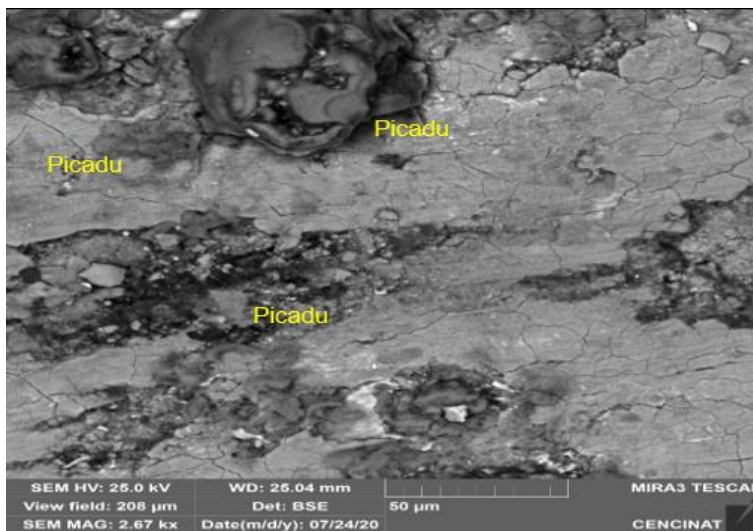


Figura 110

SEM de pilote 41 parte expuesta al ambiente salino

**Figura 111**

SEM de pilote 41 parte no expuesta al ambiente salino



Resultados de ensayos realizados a la capa orgánica.

Para este ensayo se realizó un análisis con el espectrómetro de absorción atómica, del cual se determinó la concentración de los metales que se encuentran en el acero A588, como se muestra a continuación:

Tabla 41

Análisis de Cu y Fe con espectrómetro de absorción atómica

PILA 28	Peso inicial (gr)	Vol. de la Muestra (ml)	Cu			Fe		
			Coef. de Correlación	0,995		Coef. de Correlación	0,999997	
Bajo	3,0530	24,00	4,51	10	45,1	44,7	1000	44700
Medio	3,0830	24,00	3,338	10	33,38	25,68	1000	25680
Alto	3,0337	24,00	0,207	10	2,07	17,84	1000	17840

Tabla 42

Análisis de Ni y Cr con el espectrómetro de absorción atómica

Pila 28	Peso Inicial (gr)	Vol. de la muestra (ml)	Ni			Cr		
			Coef. de Correlación	0,999914		Coef. de Correlación	0,999067	
Bajo	3,0530	24,00	4,49	10	44,9	0,536	10	5,36
Medio	3,0830	24,00	7,357	10	73,57	2,766	10	27,66
Alto	3,0337	24,00	1,054	10	10,54	3,01	10	30,1

Tabla 43

Análisis de Mn con el espectrómetro de absorción atómica

Pila 28	Peso Inicial (gr)	Vol. de la muestra (ml)	Mn		
			Coef. de Correlación	0,996612	
Bajo	3,0530	24,00	28,88	10	288,8
Medio	3,0830	24,00	20,02	10	200,2
Alto	3,0337	24,00	13,94	10	139,4

Emplearemos la fórmula para cambio de unidades,

$$\frac{mg}{Kg} = \frac{\text{Concentración del metal} \left(\frac{mg}{L}\right) * \text{Volumen de la muestra}(L)}{\text{peso de la muestra (kg)}}$$

Obteniendo los resultados detallados en la Tabla 44, en mg/kg o ppm:

Tabla 44

Resultado de la fórmula (mg/kg)

PILA 28	Cu	Fe	Ni	Cr	Mn
Bajo	354,5365	351392,0734	352,9643	42,1356	2270,2915
Medio	259,8508	199909,1794	572,7149	215,3227	1558,4820
Alto	16,3760	141134,5881	83,3833	238,1251	1102,8117

De lo cual podríamos interpretar los resultados de la Tabla 45.

Tabla 45

Interpretación de resultados

Pila 28	Total (mg)	Total (Kg)
Bajo	354412,001	0,354
Medio	202515,550	0,203
Alto	142575,284	0,143


Luego de realizaremos el análisis con el Microscopio electrónico de Barrido empleando la técnica EDX (Energy Disperse X Ray), de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 112

Materia orgánica de organismos encostrantes en incrustaciones ente los organismos y la patina.

Elemento	norm. wt.%	Error in wt.% (1Sigma)
Carbono	15,014	1,707
Oxígeno	53,808	3,531
Nitrogeno	7,829	0,206
Sodio	0,971	0,108
Magnesio	1,028	0,072
Aluminio	1,194	0,321
Silicio	0,678	0,000
Azufre	2,452	0,000
Cloro	12,820	1,694
Fósforo	0,1585	0,011547
Calcio	4,046	0,660
Hierro	94,072	1,617
Vanadio	0,045	0,016
Cromo	0,1019	0,030
Níquel	1,2932	1,293
Cobre	0,5615	0,562
Manganeso	0,1988	0,0588
Molibdeno	0,0127	0,0057
Arsénico	0,0015	0,0002
Niobio	0,0023	0,0001

Organismos Encostrantes y Materia Orgánica adherida

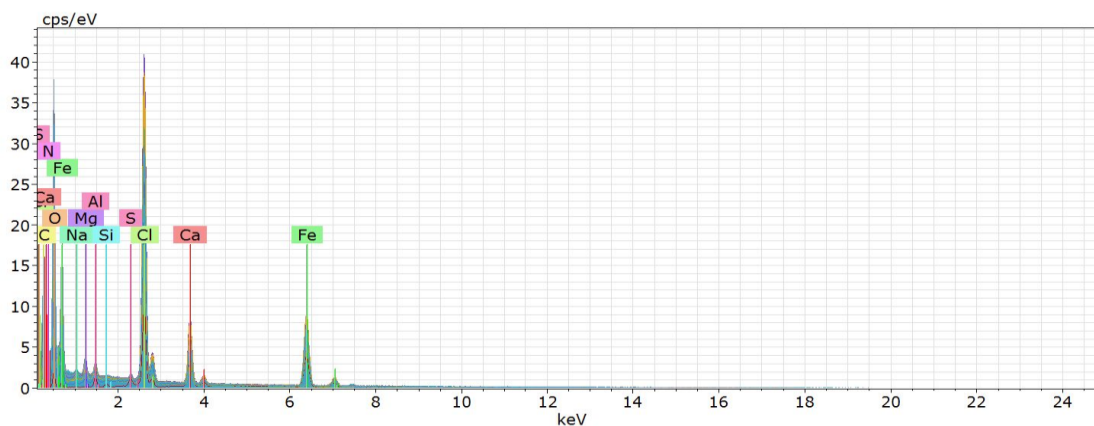


Lixiviado de Materia Orgánica

cstael
BSE MAG: 500 x HV: 25.0 kV WD: 23.9 mm Px: 0.54 μm
60 μm

Figura 113

Gráfica porcentual de materia orgánica de organismos encostrantes en incrustaciones ente los organismos y la patina.

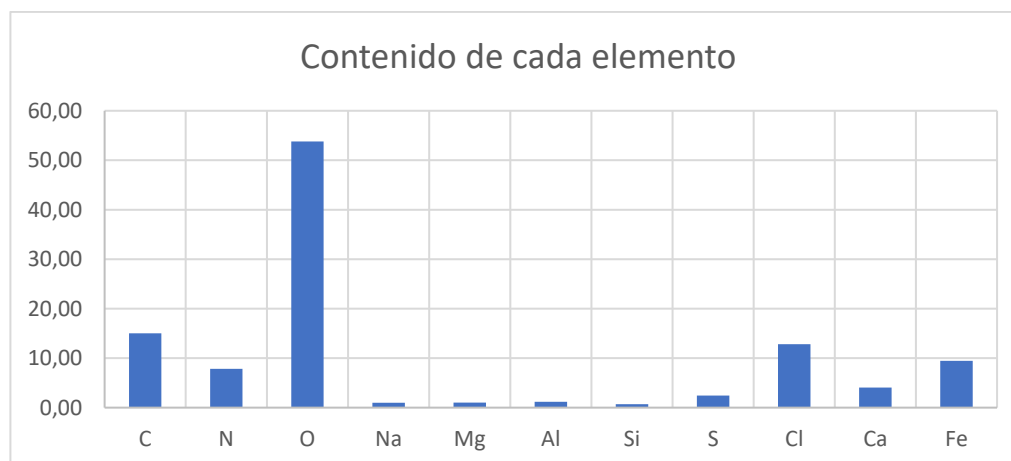


Muestra de materia orgánica y organismos encostrantes lixiviado

Que representan en el resultado la concentración como porcentaje de la masa.

Figura 114

Contenido de cada elemento por porcentaje de la masa





Derivado de las observaciones sobre los organismos encostrantes detectados y observados en el puente "Los Caras"; se pueden reconocer preliminarmente diversos grupos de organismos macroinvertebrados marinos litorales sésiles (organismos que no tienen movimiento y que por tanto se fijan a superficies duras como piedras, cemento como metálicas y navales) com pers Correoso M.R 2019.

Luego de observaciones y análisis comp pers; Correoso M.R 2019, experto en Biología (Zoología/Malacología/Biogeografía) y las observaciones naturalistas conjuntas realizadas con este experto de la ESPE, en las dependencias del laboratorio de Química y Medio Ambiente entre otros de la misma universidad.

Se determinó la presencia en el puente "Los Caras", de organismos incrustantes mayormente de la Clase Crustácea Cirripedia del tipo Percebes y Mollusca, Especie determinadas (ID= Identificación) taxonómicamente por el asesor Modesto Correoso , 2019, mediante la metodología, com pers antes indicadas), previa observaciones al microscopio estereoscópico tipo Cole Parmer Resolucion 30 X, y posteriores observaciones pertinentes al microscopio electrónico de barrido (SEM (no han entregado nada de estas fotografías en SEM), con al menos 6 especies reconocidas e indicadas por el experto (Correoso M.R, antes citado que se describen a continuación.

Tabla 46

Reconocimiento de material orgánico encostrantes

ORD	Nombre común o vulgar del organismo encostrante	Imagen (poner las Notas de la fotografía autores tesis)	Especie determinada ID= Identificación por MCorreoso Dr
01	Clase Cirripedia Percebes o Barnáculos inglés Organismos Sésiles		Balanus anfrите Familia Balanidae ID MCorreoso
05	Clase Cirripedia BALANO GIGANTE Organismos Sésiles		Especie Megabalanus peninsularis (Pilsbry, 1916) Familia Balanidae ID MCorreoso
06	Clase Cirripedia balano o percebe Organismos Sésiles		Especie Familia Balanidae Balanus sp ID MCorreoso
02	Molusco Clase Bivalvia mejillones Sésiles pequeños de 10mm a 30 mm		Especie Brachidontes adamsianus Familia Mytilidae ID MCorreoso

ORD	Nombre común o vulgar del organismo encostraste	Imagen (poner las Notas de la fotografía autores tesis)	Especie determinada ID= Identificación por MCorreoso Dr
03	Molusco Clase Bivalvia Ostra sésil, con percebes incrustados en sus valvas, encontrado en las muestras del puente se han observado pequeños cangrejos(crustacea) comensales de estos grupos de organismos incrustantes.		Especie Pseudochama corrugata Familia Chamidae ID MCorreoso
04	Algas verdes pequeñas y algo silíceas		Especie de alga verde Cf Clorofita Familia Cloroficeae ID MCorreoso

Capítulo V

Comparación de Resultados

Análisis comparativo de resultados.

Se hace un análisis comparativo del hormigón, el acero que ha sufrido desgaste debido a la corrosión y oxidación, que se encuentra en contacto con el estuario del Río Chone. Los resultados de ensayos realizados al Hormigón

Medición de la absorción y porosidad

De acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio tenemos un promedio del porcentaje de absorción del 1,93% y del porcentaje de porosidad del 4,76%

Tabla 47

Características del hormigón por su porosidad

Porosidad	Características del hormigón
Inferior al 10%	Hormigón compacto y buena calidad
Entre 10%-15%	Hormigón permeable y no apto para ambientes agresivos
Superior al 15%	Hormigones muy permeables e inadecuados para proteger la armadura a largo plazo

Nota: Tomado de E.U.A.T de Sevilla, 2012

Los hormigones que se emplean en la construcción suelen tener una compacidad del 94% - 96%, con lo que la porosidad oscila entre el 6% y 4%. Luego del análisis comparativo con el trabajo realizado determinamos que la porosidad al ser menor al 10% es un hormigón compacto y de buena calidad.

El hormigón, por su permeabilidad, al ser sano es atravesado por un fluido, pudiendo ser este un líquido o gas, existen dos factores que inciden, la porosidad capilar o fisuras y la

impermeabilidad que debe encontrarse entre 1% a 2%; lo que conduce a una alta durabilidad y mejor respuesta técnica; siendo la velocidad e penetración entre 10-8 m/s a 10-11 m/s.

Al tener una porosidad capilar menor al 2% se puede determinar que es un hormigón permeable con alta durabilidad con una velocidad de daño desde 10-11 hasta 10-8 m/s.

Cabe denotar que la porosidad disminuye con la presencia de la carbonatación, al igual que existe una relación con la subida de peso. La porosidad está reconocida en todo el mundo como uno de los parámetros en el hormigón endurecido de mayor influencia en los mecanismos de transporte de los agentes agresivos hacia el interior de su estructura.

(Howland, 2013)

Al tener una porosidad capilar menor al 2% se puede determinar que es un hormigón permeable con alta durabilidad con una velocidad de daño desde 10-11 hasta 10-8 m/s.

Cabe denotar que la porosidad disminuye con la presencia de la carbonatación, al igual que existe una relación con la subida de peso. La porosidad no solo influye en la absorción del material sino también en su resistencia (Vélez, 2010)

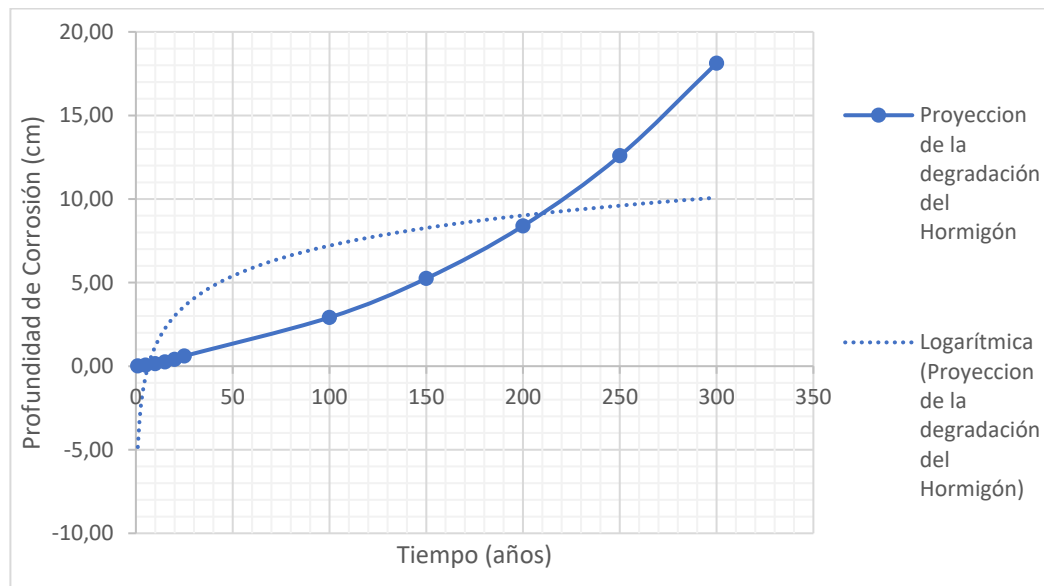
Medición de la carbonatación.

En los ensayos realizados obtuvimos un promedio de 1,41 mm de profundidad de carbonatación y una velocidad de 0,44 mm/año^{1/2}. Para determinar si el comportamiento del hormigón debido a la carbonatación es menester verificar el pH del hormigón el cual nos permitirá evaluar los resultados obtenidos. Los cementos de mayor resistencia tienen menor profundidad de carbonatación, y a medida que aumenta la resistencia a la compresión del hormigón va disminuyendo la velocidad de carbonatación. En el siguiente gráfico se

determina la proyección de carbonatación del hormigón, la cual puede variar por diferentes factores.

Figura 115

Relación de tiempo y profundidad de corrosión



Medición del pH

De los resultados obtenidos podemos comprobar con el empleo de la fenolftaleína un color rosado que se encuentra en un intervalo de 8 a 9,5 del pH y mediante el análisis en el laboratorio de cinco muestras tomadas obtuvimos un promedio de 11,48 de nivel de pH. Lo que nos indica un bajo nivel de carbonatación, al tener un pH superior a 9,5 y el acero del hormigón armado se encuentra pasivo y sin la acción de la corrosión.

Medición de la resistencia a la compresión.

El hormigón ha obtenido resistencias promedio de 472.12 kg/cm², lo cual corresponde al 112% de la resistencia esperada que corresponde al 420 kg/cm², y 134,89% de la resistencia de diseño de que es de 350 kg/cm². Al verificar los resultados obtenidos, el hormigón se encuentra con un pH alcalino, una baja profundidad y velocidad de carbonatación, podemos definir que el hormigón tiene una alta resistencia y dependerá de ello otros factores como la relación agua cemento, agregados fino y grueso, los aditivos que se utilicen y el ambiente al cual este expuesto el hormigón. A medida que aumenta la resistencia del hormigón, la velocidad de carbonatación disminuye.

Análisis de XRD difracción de rayos x, espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido

Para la interpretación de los resultados se compara con parámetros establecidos por diferentes investigaciones en similares condiciones debiendo notar que los porcentajes obtenidos estarán sujetos a variaciones en el futuro por las condiciones propias que supone el ambiente.

El análisis del hormigón se inicia comparándolo con las características del empleado en el puente "Los Caras" el cual corresponde al cemento Portland Puzolánico Tipo IP según consta en los registros y memorias técnicas del puente, las cuales se encuentran en los anexos.

Tabla 48*Óxidos admisibles por porcentaje en el hormigón*

Óxido	Fórmula	% Admisible
Óxido de Calcio	CaO	60-67
Óxido de Silicio	SiO ₂	17-50
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	3-8
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	0,5-6
Óxido de Azufre	SO ₃	0,1-4,5
Óxido de Magnesio	MgO	0,1-6
Óxido de Sodio	Na ₂ O	0,1-6
Óxido de Potasio	K ₂ O	0,4-1,3
Óxido de Titanio	TiO ₂	0-0,5
Óxido de Manganeseo	Mn ₂ O ₃	0-0,3

Nota: Tomado de los fabricantes para cemento Portland.

Tabla 49*Comparación de porcentajes de óxidos*

	Dióxido de Sílice	Óxido de Aluminio	Óxido de Hierro	Óxido de Calcio	Óxido de Magnesio	Trióxido de Azufre	Óxido de Potasio	Óxido de Sodio	Óxido de Titanio
	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	K₂O	Na₂O	TiO₂
Cemento Potland IP / ASTM C 595 (%)	26,47	6,16	5,72	52,09	2,35	2,89	1,03	0,26	0,50
Cabezal de Pilote N° 22 expuesto (%)	18,09	8,99	3,43	6,16	1,18	0,12	1,12	5,09	0,499
Cabezal de Pilote N° 38 expuesto (%)	15,96	6,42	3,58	7,16	1,14	0,84	0,67	4,58	0,357

Se puede notar que en la mayoría de los óxidos componentes del cemento presentan una ligera disminución de sus porcentajes respecto de su dosificación inicial y esto es aceptable en la capa superficial expuesta ambiente marino y además para evidenciar que durante diez años de exposición a este ambiente casi no ha tenido cambios significativos en los parámetros de resistencia que configuran internamente las respuestas a las sollicitaciones de compresión a las que se hallan sometidos. Para el óxido de aluminio con incremento del 2,83% y para el óxido de sodio de un 4,83% indica que existe incrustaciones tanto de Aluminio y Sodio producto de la exposición del hormigón en los cabezales de los pilotes del puente sin que esto llegue a dañar al hormigón por encontrarse en los límites permisibles detallados en la tabla, también se debe observar que existe una importante degradación en la Cal que conforma el cemento que ha disminuido un 44,93% en la capa superficial que está en contacto directo con el ambiente marino que por ensayos anteriores se ha establecido en 1mm aproximadamente lo cual es mínimo. Para los análisis de la determinación del factor que está degradando al hormigón se verifica y comparan los compuestos químicos que producen daño al hormigón con los encontrados en las muestras a fin de establecer porcentajes de daño:

Tabla 50

Carbonatación no expuesta

	Dióxido de Carbono	Portlandita	Promedio
	CO₂	Ca (OH)₂	
Cabecal de Pilote N° 22 expuesto	7,08%	3,08%	5,08%
Cabecal de Pilote N° 38 expuesto	8,02%	3,58%	5,80%

Tabla 51*Carbonatación expuesta*

	Dióxido de Carbono	Portlandita	Promedio
	CO₂	Ca (OH)₂	
Cabecal de Pilote N° 22 expuesto	7,08%	6,16%	6,62%
Cabecal de Pilote N° 38 expuesto	8,02%	7,16%	7,59%

En las muestras se registra un valor moderado de 5,08%-5,80% de la mezcla del Dióxido de Carbono con el Hidróxido de Calcio o Portlandita que conforman el Carbonato de Calcio respectivamente para los cabezales de pila analizados, esto muestra una importante contaminación del sector con anhídrido carbónico presente en medio y del agua de mar sumado a la alta HR en el ambiente que lo hace incrustar en el hormigón, la carbonatación es el factor más agresivo que está atacando al hormigón del puente, sin embargo, su progresión en este no ha sido notoria ya que en las características del hormigón como el pH superior a 12 en promedio y la porosidad mínima, hacen que sea mayormente impermeable y resista los diversos ataques.

Tabla 52*Ion cloruro*

	Alumina Tricálcico o Al₂O₃.3C ao	Límite protección para hormigón	Cl or ur o Cl	Límite protección para hormigón	Clorur o de Sodio NaCl	Cloruro de Magnesi o MgCl₂
Cabezal de Pilote N° 22 expuesto	11,04%	4%-10%	0,0 7%	0,40%	5,11%	1,20%
Cabezal de Pilote N° 38 expuesto	8,81%		0,0 5%		6,96%	1,16%

El Ión Cloruro latente en el ambiente marino no representa actualmente un riesgo mayor para la degradación del hormigón, pero se debe tener presente que al mínimo fisuramiento puede penetrar y con ello el daño a la armadura podría ser severo. Al momento de la presente investigación está protegida por un recubrimiento impermeable de 8cm que está impidiendo que progrese este ataque, el ión cloruro corresponde a un 0,07% que es mínimo para un admisible de 0,40%. Para el cabezal de la pila N°38 existe una acumulación de Cloruro de Sodio de 6,96% que es normal debido a que esta parte del puente pasa constantemente rodeada de agua de mar a diferencia de las partes centrales que se seca por la pleamar y baja mar.

Al comparar la presencia de cloruros con la presente tabla se puede establecer el contenido de Cloruros como despreciable ya que su cantidad en el ambiente es muy baja y ello no ha permitido que sea el factor más agresivo. Con el Microscopio electrónico de barrido a un aumento de 1000x se pudo identificar la existencia de Etringita que corresponde a la degradación del cloroaluminato por acción del Óxido de Azufre que están presentes en

este ambiente salino o por carbonatación que está actuando agresivamente en el hormigón, pero no tiene afectación a este por su fuerte consistencia y alta permeabilidad.

Tabla 53

Sulfatos

	Sulfato de Magnesio	Límite para el hormigón	Sulfato de Sodio	Límite para el hormigón	Sulfato de Calcio
	MgSO₄		NaSO₄		CaSO₄
Cabezal de Pilote N° 22 expuesto	1,21%	0,5%-1%	5,12%	0,5%-1%	3,11%
Cabezal de Pilote N° 38 expuesto	1,35%		4,79%		3,79%

El sulfato en ataque al hormigón puede producir fisuras por la expansión de la etringita, en el estuario del río Chone existe gran cantidad de movimiento de agua salina lo que incrementa la exposición a sulfatos, la formación de calcita facilita el ataque de sulfatos o degradación por carbonatación para el análisis el sulfato de Sodio presenta una diferencia de 4,1% respecto del admisible para similares condiciones el sulfato de calcio también presenta un 3,79% lo cual nos indica que este tipo de ataque está presente en el hormigón pero a futuro podría incrementarse. Finalmente se analizan los resultados obtenidos referentes al posible ataque con la formación de ácidos orgánicos

Tabla 54*Ácidos orgánicos*

	Óxido de Azufre	Límite para el hormigón	Cloruro de Hidrógeno
	SO ₃		CIH
Cabecal de Pilote N° 22 expuesto	0,03%	0,1%-2,5%	0,023%
Cabecal de Pilote N° 38 expuesto	0,21%		0,018%

Nos refleja que existe mayor incrustación de Óxido de azufre en la parte más húmeda en el ambiente salino pero que se encuentra en los parámetros admisibles para este tipo de ambiente, el cloruro de hidrógeno es prácticamente despreciable por lo que no supone riesgo para la estructura. Finalmente, para establecer los parámetros que están afectando en mayor forma y se determinan los valores de los elementos cuyo porcentaje es más alto y la patología que a futuro podrían llegar a presentar en el hormigón:

Tabla 55*Parámetros que están afectando al hormigón*

Elemento	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1Sigma)	Elemento	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1Sigma)
Carbono	7,083	0,566	Carbono	8,021	0,814
Oxígeno	52,008	5,826	Oxígeno	51,620	4,565
Sodio	5,088	0,175	Sodio	4,576	0,283
Aluminio	8,989	0,501	Aluminio	6,424	0,292
Silicio	18,087	1,066	Silicio	15,960	0,615
Calcio	6,158	0,062	Calcio	7,158	0,202
Hierro	3,426	0,208	Hierro	3,581	0,103
Cabecal de Pilote N° 22			Cabecal de Pilote N°38		

El alto porcentaje del silicio se debe al empleo del hormigón portland puzolánico tipo IP que no supone riesgo alguno, el alto porcentaje de oxígeno se debe a las características propias del ambiente que también se desprecia para el análisis pero que constituye el elemento que se combina con todos los elementos presentes y configura los compuestos que se ha establecido, el Aluminio en el cemento es permisible al formar óxido de Aluminio lo cual no supone riesgo hasta el 8% debiendo notar que su disminución o excedente obedece exposición directa al agua de mar obteniendo un 0,989% que es mínimo y no está afectando a los elementos analizados, el carbono obedece a la contaminación del ambiente que sumado a la HR > 70% provoca degradación del Hormigón por Carbonatación, El calcio y el hierro es característico de la composición del cemento empleado lo cual tampoco representa riesgo los cuales están dentro de los porcentajes admisibles.

Resultados de ensayos realizados al acero.

Medición de la corrosión.

Nos permite determinar la parte del acero que se encuentra en buen estado y que se encuentra trabajando casi en el total de su porcentaje. Podemos determinar que tenemos una picadura superficial por ser más amplia y menos profunda, siendo una corrosión generalizada o uniforme, debido a que el factor de picadura es muy cercano a la unidad, que actúa en toda la estructura metálica del pilote, lo cual nos indica que mediante la limpieza realizada con equipo industrial hemos retirado en la totalidad la parte que se encuentra corroída a diferencia de la química que no se tiene un control de la limpieza y mediante la

limpieza mecánica manual no se puede retirar la totalidad de la parte desgastada por la corrosión. Empleando la fórmula de velocidad de corrosión de la estructura tenemos

Tabla 56

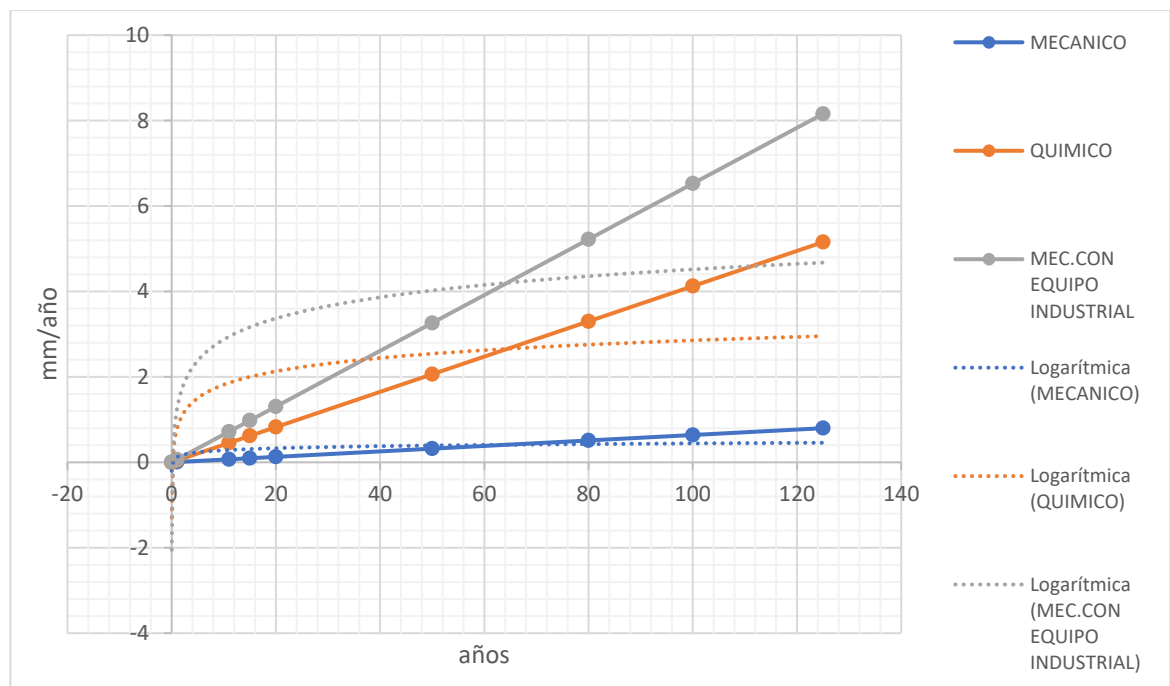
Promedio de ensayos de velocidad de corrosión

Ensayo	Promedio (mm/años)
Mecánico	0,006
Químico	0,041
Mecánico con E.I.	0,065

En el siguiente gráfico se determina la proyección de corrosión del acero, la cual puede variar por diferentes factores.

Figura 116

Proyección de la corrosión del acero



Para la verificación de las medidas compararemos con las medidas realizadas con el ultrasonido:

Tabla 57

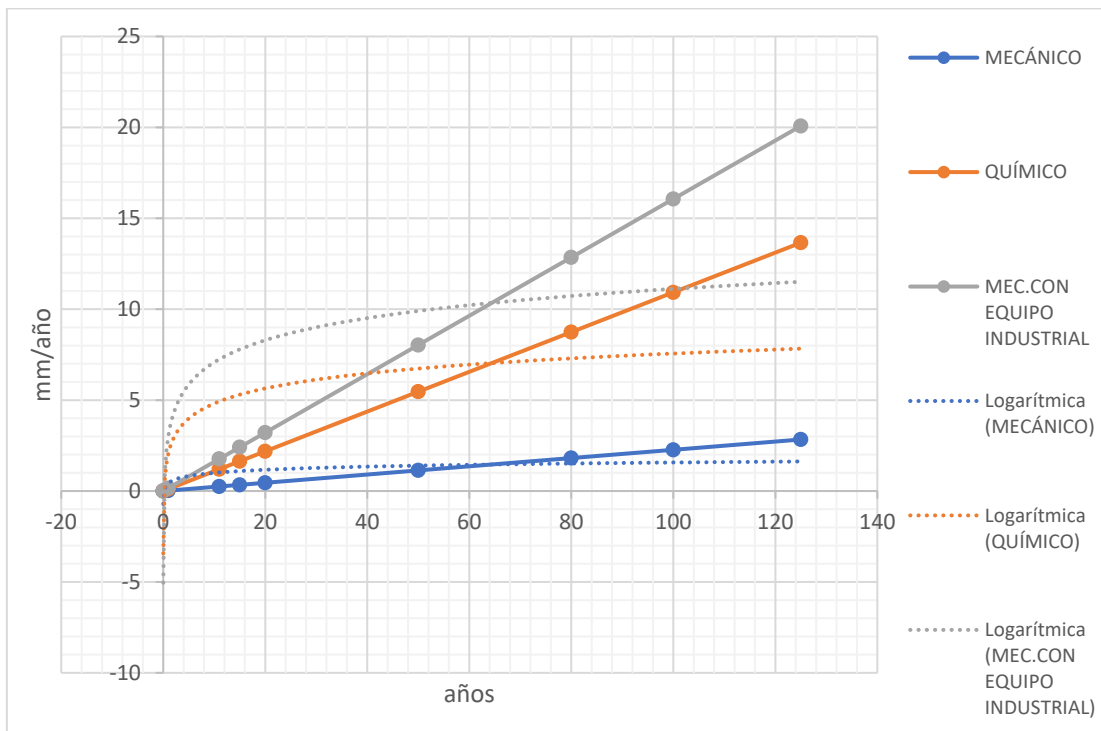
Comparación de resultados con el ultrasonido

Ensayo	Promedio (mm/años)
Mecánico	0,023
Químico	0,109
Mecánico con E.I.	0,161

En el siguiente gráfico se determina la proyección de corrosión del acero, la cual puede variar por diferentes factores.

Tabla 58

Proyección de corrosión del acero



Obtenemos una diferencia entre las medidas realizadas por pérdida de peso y las tomadas con el ultrasonido de:

Tabla 59

Diferencia entre velocidad teórica y velocidad práctica

Ensayo	Diferencia de medida (mm/año)
Mecánico	0,016
Químico	0,068
Mecánico con E.I.	0,095

En el resultado de estas pruebas, al determinar el desgaste y sacar el resultado total de la diferencia de medidas en las muestras, nos podemos dar cuenta que el ultrasonido nos muestra la parte del acero que en cada uno de los ensayos sigue trabajando con las características iniciales del acero A588 de clasificación A.

Tenemos un promedio de picadura de 1,07 mm obteniendo un promedio del factor de picadura en limpieza manual de 0,23, en limpieza química de 1,12 la limpieza mecánica con equipo industrial de 1,65.

Los pilotes del Puente Los Caras se encuentran clasificados en los aceros que se encuentran en la zona de exposición de la parte inferior de la zona de mareas, lo cual nos determinaría un desgaste de 0,20 mm/año, pero de acuerdo a los estudios realizados y a las medidas tomadas alcanzamos una máxima promedio de 0,161 mm/año que estaría dentro del rango estipulado y una máxima individual de 0,241 mm/año, que excede con el 20,45% del total de deterioro por corrosión.

Prueba de impacto.

El ensayo de Charpy nos ayuda a determinar los siguientes resultados:

Tabla 60

Resultados de la prueba Charpy

Ea (kg.m)	13,133
Ea (kg.m²/s²)	128,838
Resiliencia (julio/mm²)	1,537

En la norma ASTM E23, para la verificación indirecta de los aceros nos establece parámetros de energía para valorar los aceros:

Tabla 61

Parámetros de energía para valorar los aceros

Niveles de Energía	Ea (Julios)
Bajo	12 – 20
Alto	88 – 115
Super Alto	210 - 230

Nota: Tomado de ASTM E23, 2016

De lo cual se puede categorizar de acuerdo al nivel de energía y a los resultados obtenidos del acero A588 del puente Los Caras es Alto, y la dispersión de los resultados es mayor al 5% por que las muestras no son tomadas de las mismas pilas y el desgaste es distinto por las condiciones de fatiga, y la ubicación que es sometidas cada una de ellas, de lo que se puede observar, que cuando la pila se encuentra más hacia el centro tiene mayor cantidad de desgaste que cuando se ubica a los extremos del puente, por recibir menor cantidad e impacto en la pleamar del estuario.

Prueba de tracción del acero.

Estos resultados nos permiten realizar una comparación de la parte interna del acero empleado en los pilotes del Puente, con respecto al acero totalmente nuevo del empleado en su construcción.

Tabla 62

Resultados del ensayo de tracción en Kgf

Ensayo	Pila 11	Pila 19	Pila 35
Esfuerzo Máximo (kgf)	6902,335	6619,899	6779,548
Limite Elástico (kgf)	5266,929	5093,982	5058,975
Fractura (kgf)	5680,449	6324,771	5201,094
Elongación (%)	39,320	36,080	42,120

Tabla 63

Resultados del ensayo de tracción en Kg/cm²

Ensayo	Pila 11	Pila 19	Pila 35
σ máx (kg/cm ²)	5365,666	5146,109	5269,446
Limite Elástico (kg/cm ²)	4094,351	3959,908	3932,120
σ ruptura (kg/cm ²)	4415,809	4916,686	4042,583

Podemos observar que las pilas que se encuentran en el centro y tienen mayor contacto con el arremetiendo del agua disminuyen en una pequeña proporción

Tabla 64

Promedio de resultados del ensayo en Kgf

Esfuerzo Máximo (kgf)	6767,260
Limite Elástico (kgf)	5139,962
Fractura (kgf)	5735,438
Elongación (%)	39,173

Tabla 65

Promedio de resultados del ensayo en Kg/cm²

σ máx (kg/cm²)	5260,407
Limite Elástico (kg/cm²)	3995,460
σ ruptura (kg/cm²)	4458,359

Al denotar que en los esfuerzos del acero A588, el límite de fluencia promedio de los testigos tomados de los pilotes del puente es de 3995,460 kg/cm² y el mínimo que establece la norma es 50 Ksi correspondiendo a 3515,35 kg/cm², el promedio del último esfuerzo es de 5260,407 kg/cm² y el establecido por la norma es de 70 Ksi es el límite de tensión mínimo correspondientes a 4921,48 kg/cm², el porcentaje de elongación promedio es de 39,173%, que también es superior al de las características técnicas del acero que establece y 18% mínimo en 8" (200 mm), 21% en 2" (50 mm) podemos verificar de acuerdo a los resultados que el acero cumple con las características técnicas determinadas por la norma ASTM A588. En las pruebas técnicas de control de calidad realizadas por la empresa ucraniana a la cual se le hizo la adquisición tiene como prueba de tracción promedio de 5710 kg/cm², lo que corresponde a una pérdida de sección del 7,87% en los 11 años de construcción.

Análisis de XRD difracción de rayos x, espectroscopía de rayos X de energía dispersa EDS y microscopía electrónica de barrido

El análisis del acero se inicia comparándolo con las características del empleado en el puente "Los Caras" el cual corresponde al A588 tipo A según consta en los registros y memorias técnicas del puente, las cuales se encuentran en los anexos.

Tabla 66*Composición porcentual del acero de acuerdo al fabricante*

	Acero ATM A588	Acero Fabricante A588
Carbón	0,19% máx	0,18%
Manganeso	0,80%-1,25%	0,94%
Fósforo	0,04% máx	0,02%
Azufre	0,05 máx	0,04%
Silicio	0,30%-0,65%	0,35%
Níquel	0,40 máx	0,27%
Cromo	0,40%-0,65%	0,41%
Molibdeno	.....	0,02%
Cobre	0,25%-0,40%	0,27%
Vanadio	0,02%-0,10%	0,0224%
Aluminio	.....	0,025%
Nitrógeno	.....	0,0076%
Arsénico	.....	0,005%
Niobio	.....	0,008%

Comparando con los parámetros que establece la ASTM y los del fabricante se puede evidenciar que los estándares de diseño cumplieron dentro de los rangos y adicionalmente constan de elementos metálicos que existen en una proporción menor pero no están contemplados en la norma lo cual indica que el acero obedece a un mejor comportamiento y resistencia que el establecido en la norma.

Tabla 67

Comparación de la composición química del fabricante y lo encontrado en los pilotes

	Carbo no C	Exced o Dismin	Manga neso Mn	Exced o Dismin	Fósfor o P	Exced o Dismin	Azuf re S	Exced o Dismi n	Silic io Si	Exce d o Dism in	Níqu el Ni	Exce d o Dism in
Acero A588/ Fabrica nte %	0,18		0,940		0,016		0,04		0,35		0,27	
Pilote N° 09 parte expuest a %	8,79	8,61	0,34	-0,60	-0,03	-0,05	0,10	0,06	0,53	0,18	1,87	1,60
Pilote N° 19 parte expuest a %	23,73	23,55	0,33	-0,61	-0,013	-0,029	0,12	0,08	0,64	0,29	1,52	1,25
Pilote N° 41 parte expuest a %	9,37	9,19	0,51	-0,43	-0,017	-0,033	0,01	0,07	1,39	1,04	1,69	1,42

	Cromo Cr	Excedo Dismin	Cobre Cu	Excedo Dismin	Vanadio V	Excedo Dismin	Aluminio Al	Excedo Dismin	Nitrógeno N	Excedo Dismin	Molibdeno Mo	Excedo Dismin
Acero A588/ Fabricante	0,41		0,27		0,02 24		0,025		0,007 6		0,02	
Pilote N° 09 parte expuesta	0,14	-0,13	0,35	0,08	0,04	0,02	0,14	0,12	6,51	6,50	0,02	-0,004
Pilote N° 19 parte expuesta	0,21	-0,06	0,46	0,19	0,06	0,04	0,22	0,19	50,36	50,35	0,01	-0,01
Pilote N° 41 parte expuesta	0,62	0,35	0,65	0,38	0,04	0,02	0,40	0,38	70,86	70,85	0,01	-0,01

De la comparación de las características químicas del acero se obtiene un aumento de 23,55% en carbono y en nitrógeno de un 7,85% que a ese valor no suponen riesgo mayor a los pilotes del puente debiéndose analizar en la capa orgánica que compuestos podrían formarse y agredir al acero.

Tabla 68

Porcentaje de arsénico y niobio de acuerdo al fabricante

	Arsénico As	Excedo Dismin	Niobio Nb	Excedo Dismin
Acero A588/ Fabricante	0,005%		0,008%	
Pilote N° 09 parte expuesta	0,004%	-0,001%	0,006%	-0,002%
Pilote N° 19 parte expuesta	0,002%	-0,003%	0,003%	-0,005%
Pilote N° 41 parte expuesta	0,003%	-0,002%	0,004%	-0,004%

Tabla 69

Comparación de la composición química del fabricante y lo encontrado en los pilotes

	Carbo no C	Exced o Dismi n	Manga neso Mn	Exced o Dismi n	Fósforo P	Exced o Dismi n	Azuf re S	Exced o Dismi n	Silici o Si	Exce d o Dism in	Níq uel Ni	Exced o Dismi n
Acero A588/ Fabricante	0,18		0,940		0,016		0,04 0		0,35		0,27	
Pilote N° 09 parte no expuesta %	9,81	9,63	0,29	-0,65	0,0146	-0,001	0,15	0,11	0,43	0,08	0,27	-0,002
Pilote N° 19 parte no expuesta %	12,41	12,23	0,38	-0,56	0,011	-0,005	0,16	0,12	0,54	0,19	0,23	-0,038
Pilote N° 41 parte no expuesta %	10,39	10,21	0,35	-0,59	0,0151	-0,001	0,07	0,03	1,15	0,80	0,24	-0,026

	Cromo Cr	Exceso Dismin	Cobre Cu	Exceso Dismin	Vanadio V	Exceso Dismin	Aluminio Al	Exceso Dismin	Nitrógeno N	Exceso Dismin	Molibdeno Mo	Exceso Dismin
Acero A588/ Fabricante %	0,41		0,27		0,0224		0,025		0,0076		0,020	
Pilote N° 09 parte no expuesta %	0,20	-0,07	0,26	-0,01	0,02	-0,0005	0,15	0,13	0,0063	-0,001	0,02	-0,001
Pilote N° 19 parte no expuesta %	0,18	-0,09	0,22	-0,05	0,02	-0,0023	0,33	0,31	0,0059	-0,002	0,02	-0,002
Pilote N° 41 parte no expuesta %	0,43	0,16	0,23	-0,04	0,02	-0,0003	0,32	0,29	0,0069	-0,001	0,02	-0,001

De la comparación de las características químicas del acero se obtiene un aumento de 12,23% en el carbono y una disminución casi de todos los elementos lo que nos indica que internamente los pilotes tienen una corrosión mínima que puede deberse a filtraciones internas por el hormigón en su interior ya que el carbono también está ingresando y existe un pequeño aumento en Azufre 0.12%, Silicio 0.8% y Aluminio 0,31% porcentajes que obedecen a la formación de patina.

Tabla 70

Contenido porcentual que excede o disminuye de la cara no expuesta

	Arsénico	Exced o Dismin	Niobio	Exced o Dismin
	As		Nb	
Acero A588/ Fabricante	0,005%		0,008%	
Pilote N° 09 parte no expuesta	0,004%	-0,001%	0,007%	-0,001%
Pilote N° 19 parte no expuesta	0,004%	-0,001%	0,006%	-0,002%
Pilote N° 41 parte no expuesta	0,005%	-0,0004%	0,008%	-0,0003%

Para establecer el porcentaje de la capa pasivada de patina en el acero y sus componentes se verifica bajo los datos de MEB y análisis XRD los parámetros observados para su comparación con los encontrados en el análisis EDS.

Para el lado de acero expuesto directamente se tiene:

Tabla 71

Contenido porcentual que excede o disminuye de la cara expuesta

	Akaganeíta (Fe ₃ +Ni ₂ +) ₈ (OH,O) ₁₆ Cl ₁ .25nH ₂ O	Dióxido de Azufre SO ₃	Magnetita Fe ₃ O ₄	Lepidocrocita Y-Fe ₃ +O(OH)
Pilote N° 09 parte expuesta	18,818%	0,095%	15,322%	9,193%
Pilote N° 19 parte expuesta	12,750%	0,115%	10,976%	6,586%
Pilote N° 41 parte expuesta	21,495%	0,111%	19,221%	11,533%

Tomando los mayores valores se puede establecer que para la formación en la capa pasivante o patina la Akaganeíta alcanza 21,5%, el dióxido de azufre 0,12%, este es el elemento que hace corroer más al acero ensanchando la capa de protección y transformando la Akaganeíta en Magnetita con 19,2%, posteriormente progresa el ataque por sulfuros y dar lugar a la formación de Lepidocrocita 11,53% lo cual nos da un estimado de cómo se encuentra deteriorándose el acero que aproximadamente por cálculos anteriores se estimó en 2,5 mm durante 11 años de colocación y sometido a las respectivas cargas.

Resultados de ensayos realizados a la capa orgánica.

Los resultados obtenidos con el espectrómetro de absorción atómica, tenemos el peso de cada uno de los elementos químicos del acero A588, empleados en el Puente, esta cantidad es la que encontramos en un Kilogramo de muestra de las partes del pilote.

Tabla 72

Kilogramos del Metal por Kilogramo de Muestra

Pila 28	Cu	Fe	Ni	Cr	Mn
Bajo	0,000355	0,351392	0,000353	0,000042	0,002270
Medio	0,000260	0,199909	0,000573	0,000215	0,001558
Alto	0,000016	0,141135	0,000083	0,000238	0,001103

Microscopio electrónico de barrido empleando la técnica EDX (Energy Disperse X Ray),

El análisis nos da como resultado la concentración como porcentaje de la masa.

Tabla 73

Porcentaje del metal en la muestra

Elemento	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe
Promedio	15,01	7,83	53,81	0,97	1,03	1,19	0,68	2,45	12,82	4,05	9,46

Análisis de XRD difracción de rayos X, espectroscopía de rayos x de energía dispersa EDS y microscopia electrónica de barrido.

Se inicia comparando con la composición del acero A588 y al estar incrustados los organismos encostrantes en su mayoría presentan cantidades pequeñas de estos elementos metálicos.

Tabla 74

Metales en organismos encostrantes

	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu	V	Al	N	Mo	As	Nb
A588/ Fabricante %	0,18	0,940	0,02	0,04	0,35	0,27	0,41	0,27	0,022	0,025	0,008	0,020	0,005	0,008
Materia Orgánica %	15,01	0,20	0,159	2,45	0,68	1,29	0,10	0,56	0,05	1,19	7,8290	0,01	0,002	0,002
	Acum			Acum		Acum		Acum	Acum	Acum				

Esto permite establecer la acumulación de Carbono, Fósforo, Azufre y Silicio que contribuye la propagación de organismos encostrantes. La acumulación de Níquel, Cobre, Vanadio y Aluminio forman parte de la pátina característica del acero que al estar en contacto constante con la humedad durante la pleamar y bajamar presenta un color negro de aspecto muy oscuro. El nitrógeno y el azufre pueden formar Óxidos que incrementan la velocidad de corrosión al ir

destruyendo las capas pasivantes que se van formando, también se forman ácidos orgánicos que son mayormente abrasivos y destruyen con mayor rapidez al acero.

Tabla 75

Porcentaje de óxidos y ácidos orgánicos

Óxidos		Ácidos Orgánicos		
Dióxido de Azufre SO₂	Óxido de Nitroso N₂O	Ácido Sulfúrico H₂SO₄	Ácido Clorhídrico HCL	Ácido Nítrico HNO₃
2,452%	3,915%	1,471%	0,801%	0,734%

Con el ambiente marino agua de mar y alta HR 70-80%, los componentes que retienen los organismos encostrantes y la degradación del acero en su componente Akaganeíta se forman tanto el Dióxido de Azufre como el Óxido Nitroso que son el inicio para formar los Ácidos: Sulfúrico, Clorhídrico y Nítrico que son muy agresivos para el acero el movimiento constante de agua del estuario permite que no progresen mayormente estos compuestos ello aunado a la buena calidad del acero ha permitido exista corrosión por picaduras pero estas no se encuentran a mucha profundidad por ello la medida de desgaste en estos 11 años aproximadamente se encuentra en 2,5 mm que resulta mínimo.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Posterior al análisis por los diferentes métodos, el desgaste obtenido para el hormigón es 1,41 mm/año, y se estima una duración de 200 años y para el acero se obtuvo un desgaste de 0.098 mm/año, lo que se proyecta a una duración de 125 años para que empiece a trabajar el hormigón interno de los pilotes.

Posterior a los análisis químicos y mecánicos, se establece que el medio ambiente, agua salada y organismos encostrantes, causan en el acero y hormigón la degradación. En el hormigón la degradación se da por carbonatación, ión cloruro y sulfatos, lo que a futuro disminuiría su capacidad. Para el acero la capa pasivante o patina y los organismos encostrantes generan ácidos y óxidos agresivos que alterarían las características y resistencia.

Al no ejecutarse un mantenimiento del puente, las condiciones de deterioro aceleran por el aumento de agresión de los factores anteriormente detallados, lo que conlleva a un aceleramiento del daño exponencial.

El efecto de los organismos encostrantes en los pilotes ha generado, factores positivos y negativos. Como factores positivos tenemos la protección de la abrasión y del golpe por el flujo constante del agua del estuario, y como factores negativos el desgaste por la agresión de los organismos que forman compuestos químicos.

La adecuada elección de los materiales ha permitido un comportamiento idóneo para la resistencia, en el hormigón su permeabilidad y en el acero A588 su composición química han determinado un apropiado desempeño, generando una adecuada respuesta, a las sollicitaciones de carga, servicio y ambientales.

Al someter las muestras de acero y hormigón a los análisis mecánicos como químicos se puede establecer en forma más precisa el comportamiento y las patologías lo cual evidencia el comportamiento que ha tenido el puente durante 11 años y sometido a condiciones mayormente agresivas.

Las condiciones de temperatura, salinidad y humedad relativa son importantes en el nivel de agresividad hacia los distintos materiales expuestos a ellos lo cual aumenta o disminuye el nivel de la corrosión y la degradación del hormigón estableciendo que el comportamiento para corrosión del acero y degradación del hormigón no es lineal y obedece a un sin número de factores propio de cada medio y material empleado, algo ventajoso y más real es analizar la muestra en períodos largos de tiempo lo cual permite con gran certeza acercarse a resultados más reales sobre la utilidad que presenta la estructura o el elemento.

Las picaduras constituyen la forma más frecuente de corrosión en el acero que se encuentra sometido o en contacto con el ambiente marino, esto se da tanto por la existencia de biopelículas y la acción de organismos incrustantes, en ambientes marinos la corrosión nunca es uniforme la afectación de las picaduras se replica en los granos de acero sus tamaños se agigantan con el proceso de corrosión por ello se evidencia picaduras con un área mayor.

La característica de permeabilidad tiene un rol fundamental en el hormigón ya que de ella depende la acción que pueda tener o evitar en la penetración de carbonatos, sulfatos, iones cloruros u ácidos orgánicos, esta característica está íntimamente ligada a la resistencia, dosificación y la calidad de áridos y cemento empleados.

En hormigones de alta resistencia con recubrimiento entre 6-8cm pueden estar expuestos en ambientes marinos y no presentar mayor riesgo la carbonatación ya que su resistencia es adecuada a periodos largos, no obstante, el control a estructuras o elementos de acero expuestos en similares condiciones deben ser mayormente monitoreados por el riesgo que puedan presentar en un aumento repentino de la velocidad de corrosión del acero o a su vez aumentar la degradación del hormigón.

El ensayo de resistencia a la compresión evidencia la correspondiente reacción a la compresión a ese momento, pero no resulta determinante para el análisis de durabilidad del hormigón en el tiempo, para ello se debe analizar la penetración de cloruros, sulfatos y oxígeno contenido en el hormigón armado expuesto al ambiente marino.

Todos los procesos de degradación para el hormigón están relacionados con su permeabilidad de allí que también es decisivo la constitución interna del hormigón en la característica de porosidad que dependiendo su porcentaje da cabida a que internamente se vayan formando procesos de degradación que paulatinamente pueden dañar al hormigón por carbonatación, ataque de sulfatos, ión cloruro y ácidos orgánicos los cuales penetran paulatinamente en el recubrimiento hasta alcanzar la armadura la despasiva se dañan las varillas de refuerzo por corrosión, posterior a ello existen fases de hinchamiento del acero y el hormigón empieza a fisurarse con lo que reduce su capacidad de resistencia y pueden ocurrir severos daños para la estructura u onerosos costes de reparación.

Cuando el daño por cualquiera de los agentes agresivos logra penetrar al interior del hormigón puede desatarse una reacción de ataque de varios factores, pero entre ellos se podría incluir la reacción álcali-sílice o cáncer de hormigón correspondiente a las reacciones del cemento también puede darse la reacción álcali- carbonato que no es sino una degradación de los agregados y el hormigón como tal.

El hormigón expuesto ambiente salino genera cristales de calcita y etringita este último indica la iniciación de la degradación del hormigón que a factores preponderantes para el puente "Los Caras" corresponde a carbonatación, pero también podría ser por sulfatos y iones cloruro.

Los aceros corten B A588 genera en su capa pasivante y su paulatino avance inicialmente la Akaganeita, por acción de sulfatos aparece la magnetita y posteriormente la lepidocrocita que a la exposición de 11 años en ambiente salino nos datan este comportamiento en el análisis de los cristales en el difractograma de rayos x de las muestras de acero.

Las estructuras están modeladas y obedecen a cálculos de resistencia de cargas que paulatinamente con el tiempo se vuelven necesarias evaluarlas ya que la disminución en la calidad del hormigón como acero empleado pueden haber sufrido o tener deterioro en ellas lo que hace establecer que pasados 50 años se haga una evaluación de posibles daños sin dejar de lado el mantenimiento periódico que deben tener las estructuras.

La acumulación de organismos encostrantes tiene un peso adicional pero que no es necesario estimarlo ya que en la mayoración de cargas se consideraría como un peso ya asumido, valor que se incrementa conforme invaden los organismos encostrantes las superficies de acero y hormigón.

Recomendaciones

Se debe establecer un plan de mantenimiento técnico del puente a fin de que periódicamente se ejecute el mantenimiento tanto de la infraestructura como la superestructura debiendo considerar mayor énfasis en la primera ya que la acumulación de organismos encostrantes es mayor y esta puede acelerar el proceso de corrosión para el acero y la degradación para el hormigón.

Se debe realizar muestreos de cupones o nuevas probetas para estimar con más certeza el comportamiento y avance de la corrosión en el elemento y argumentar si se ha sumado a los factores identificados algún adicional y en qué grado y porcentaje aumenta propagación y el avance de la corrosión.

Se debe realizar pruebas a la cara inferior de los cabezales para ejecutar análisis de degradación del hormigón por estar más expuesta al impacto de las olas como zona de salpicadura, ya que en la presente tesis únicamente se extrajeron muestras de las caras laterales de los cabezales.

Los cupones extraídos, así como la estructura pueden aportar a grandes avances para la técnica y la práctica de ejecución en obra y empleo de materiales que puede enriquecer los procesos constructivos de nuestro país y su normativo.

Ante la escasa información referente al tema se debería pensar en realizar más estudios al respecto considerando que tanto los cálculos como la sinergia con la ejecución de obra y empleo de materiales van de la mano y estos describen el comportamiento y la durabilidad de la estructura y todos sus elementos.

Referencias

- Abad, A. (23 de junio de 2011). *www.ingenierocivilinfo.com*. Obtenido de Proyectos y apuntes teórico-prácticos de ingeniería civil: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>
- Abascal, J. (2013). Hormigón en ambiente marino. *Hormigón en ambiente marino*. Madrid, España: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- ACI. (1997). ACI 357 R -84. *Guide for the Design and Construction of*. EE.UU.
- ACI 318. (2002). Metric building code requirements for structural concrete commentary. En A. 318M-02, *Metric building code requirements for structural concrete commentary*.
- Agencia de los Estados Unidos de América para el desarrollo internacional (USAID). (1993). *Plan de Manejo del ZEM*. Guayaquil: Fundación Pedro Vicente Maldonado.
- Alfredo Artigas, O. B. (02 de Junio de 2015). Comportamiento a la corrosión atmosférica marina de aceros autopatinables con estructura ferrítico perlítica y ferrítico martensítica. *Comportamiento a la corrosión atmosférica marina de aceros autopatinables con estructura ferrítico perlítica y ferrítico martensítica*. Santiago, Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Andrea, P. Á. (Noviembre de 2016). Estudio de la corrosión producida en zona intermareal de pilotes de acero. Valparaíso, Chile.
- Arequipa Maldonado Edison Rolando. (2012). Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple $f'c = 21\text{MPa}$ Y 30MPa . Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Arequipa Maldonado Edison Rolando, Coba Santamaría Williams Alejandro, Garzón Chávez David Fernando y Vargas Quishpe Luis Ángel. (2012). Elaborado con los agregados de la mina San Joaquín provincia de Cotopaxi y el cemento Selva Alegre. Quito, Pichincha, Ecuador: Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática.
- ASTM A 588M. (2004). Especificación estándar para acero estructural de baja aleación de alta resistencia con 50 ksi (345 MPa). En ASTM, *ASTM A 588M* (pág. 2).
- ASTM C39. (2003). Resistencia a la compresión de muestras de hormigón cilíndricas. EE.UU: ASTM.
- ASTM C42. (s.f.). ASTM C42. En *Extracción de muestra y ensayo para hormigón en construcciones*.
- ASTM C642-97. (2013). *Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido*. West Conshohoken: ASTM.
- ASTM E23. (2016). ASTM E23. En ASTM.
- ASTM G 1. (2003). *Preparación, limpieza y evaluación de la corrosión de probetas*.
- ASTM G46. (2005). ASTM G46. En *ASTM G46-94* (págs. 1-8).
- ATHA. (2018). Condiciones de durabilidad del hormigón. *Manual de diseño y cálculo para la fabricación de tuberías de hormigón armado*, 1.
- Barahona Dos Santos, M. C., & Tapia Ortega, R. S. (2010). *Calidad y tratabilidad de aguas provenientes de ríos de llanura y embalses eutrificados, caso de estudio: Carrizal, Chone, La Esperanza*. Sangolquí.
- Bello, J. F. (Octubre de 1999). Nuevo microanálisis cuantitativo de metales empleando microscopia electrónica de barrido con dispersión de energías de rayos X. *Nuevo*

- microanálisis cuantitativo de metales empleando microscopia electrónica de barrido con dispersión de energías de rayos X*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- BLOGS Madrid. (1 de Mayo de 2007). *madrimasd.org*. Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693>
- Campos Silva, A. R., Fajardo², G., & Mendoza Rangel², J. M. (30 de octubre de 2016). Estudio del comportamiento del avance de la carbonatación del concreto reforzado en ambiente natural acelerado. *Estudio del comportamiento del avance de la carbonatación del concreto reforzado en ambiente natural acelerado*. Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Carlos A. Giudice, G. C. (2016). *Protección de Materiales Metálicos*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional U.T.N-Argentina. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019
- Castro Rodas, D., & Chang, J. (2015). Principales estuarios del Ecuador. *researchgate*.
- Castro Torrado, D. B., & Tarazona Malaver, P. X. (2004). Estudio del proceso de refinación del oro mediante el uso. Bucaramanga.
- Cházaro Rosario, C., & Alvarez Valadez, O. (2010). Elección de tipo de acero para estructuras. *El ACERO hoy*, 7.
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército. (2007). *Puente Los Caras*. Quito. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/coste-marginal.html>
- Diego Arturo Ardila Reyes, D. O. (2013). *BIOCORROSIÓN*. (E. D.-M. INDUSTRIAL, Ed.) Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- E.U.A.T de Sevilla. (2012). Propiedades del hormigón endurecido. En *Materiales II*.
- Felipe, J. V. (Julio de 2011). Evaluación de efectos de biocidas contenidos en recubrimientos "antifouling" (AF coatings) en ecosistemas marinos. Madrid, España.
- Felipe, J. V. (Julio de 2011). Evaluación de efectos de biocidas contenidos en recubrimientos "antifouling" (AF coatings) en ecosistemas marinos. Madrid, España.
- Fernández, A. (2016). *La Corrosión en el Acero y agentes de prevención*. Documental.
- Fernandez, G., Verdeja, J. I., & Perosanz, J. A. (s.f.). Corrosión por picaduras de una tubería de acero al carbono. *RDM Revista de Minas*, 1-6.
- Fernández, N. V. (2016). *Comportamiento Mecánico y Corrosión Marina de Diversas Aleaciones Férricas Utilizadas en Buques y en sus Componentes* (Vol. I). Coruña, España: Universidad de Coruña.
- Fundamentos de Ciencia de los Materiales. (2000). *Fundamentos de corrosión y protección*.
- Galán Garcia, I. (2011). Carbonatación del Hormigón. En I. Galán Garcia, *Carbonatación del Hormigón: combinación de CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. Madrid.
- Galán Garcia, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. Madrid, España: Universidad de Madrid.
- González Toro, C. (2005). *academic.uprm.edu. Servicio de Extensión Agrícola*, 1. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-246/capitulo5-sedimentacion.pdf>
- Henao, L. M. (2012). Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes. *Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

- Howland, J. J. (Diciembre de 2013). Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones.
- INAMHI. (2013). *Precipitación y evaporación del estuario del Río Chone*. Bahía de Caráquez. Ingeniería civil. (7 de Octubre de 2008). www.ingevil.blogspot.com. Obtenido de www.ingevil.blogspot.com: <http://www.ingevil.blogspot.com/2008/10/ensayo-compresin-de-cilindros-de.html>
- Ingeniería Real. (2019). www.ingenieriareal.com. Obtenido de www.ingenieriareal.com: <https://ingenieriareal.com/resistencia-del-concreto-a-los-28-dias/>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A., & Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. *Construcción y Tecnología*.
- Jones, D. A. (2018). Principles and Prevention of Corrosion.
- Lee, & Jones. (1981). *Application of the OECD eutrophication modeling approach to estuaries*. New Jersey: Clifton.
- Luz Amparo Quintero Ortiz; Julian Herrera; Laura Corzo;. (08 de Abril de 2010). Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónico. *Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónico*. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- M. Bethencourt, J. García de Lomas, A. Corzo, D. Villahermosa y V. Matre. (2009). Efecto de la biopelícula en la corrosión de aceros inoxidables austeníticos en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Revista de Metalurgia*, 15.
- Matute Rubio, L., & Pulido Sanchez, I. (2012). Medidas eficientes en la conservación de puentes. *Ideam*, 33.
- Monografias.com. (s.f.). [monografias.com](http://www.monografias.com). Obtenido de [monografias.com](http://www.monografias.com): <https://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2.shtml>
- Norma Ecuatoriana de la Contrucción-NEC. (2015). Estructuras de Hormigón Armado. En N. E. NEC, *NEC-SE-HM Estructuras de Hormigón Armado* (pág. 34). Quito.
- Ocaña, I. D. (2012). Corrosión Atmosférica de aceros patinables de nueva generación. Getafe, Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Odrizola, M. Á. (Octubre de 2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida. *Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Odrizola, M. Á. (Octubre de 2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Olsen, S. B. (2014). *Estudio del Estuario del Río Chone*. Manta.
- Ortega, Y. (2005). Prueba de impacto: ensayo Charpy. *Revista Mexicana de Física*, 51-57.
- Ospina, E. C. (06 de Agosto de 2009). Estudio sobre la Influencia del cromo en la velocidad de la corrosión de los aceros patinables. 1, 1, 100. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez Porto, J. (2011). <https://definicion.de>. Obtenido de <https://definicion.de/estuario/>
- Perez, N. (2009). *Corrosión del cobre y el acero al carbono en el mar y atmosfera en el Puerto de Salaverry*. Trujillo.

- Programa de Manejo de Recursos Costeros. (2006). *Estudio de zonificación y manejo de conflictos de la pesca artesanal en la UCV Bahía*. Guayaquil.
- Ramírez, I. N. (2010). *Virtualización de la asignatura de corrosión y degradación de materiales* (Area académica en materiales y metalurgia ed.). (I. d. Ingeniería, Ed.) San Luis Potosi, Estado de Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019
- Reibán, F. F. (Junio de 2014). "Evaluación del sistema de protección de corrosión del tramo del oleoducto transecuatoriano comprendido desde la estación de bombeo Baeza 4, hasta la estación de bombeo Papallacta.". Quito, Pichincha, Ecuador.
- Revista Marina. (1981). *revistamarina.cl*. Obtenido de <https://revistamarina.cl/revistas/1981/5/gardiazabal.pdf>
- Rojas. (2005).
- Romo Proaño, M. (2010). *Rediseño estructural del Puente Bahía-San Vicente*. Quito.
- RTarquitectura (inspección técnica de edificios & rehabilitación). (12 de Diciembre de 2016). *www.rtarquitectura.com*. Obtenido de www.rtarquitectura.com: <https://www.rtarquitectura.com/carbonatacion-en-el-hormigon-causas-y-efectos/>
- Ruiz, L. P. (Octubre de 2018). Corrosión marina en estructuras offshore. 101. Santander, España.
- Schumacher, A. (1979). *Factores influyentes en la corrosión*. 6.
- Scielo. (s.f.). *www.scielo.br.com*. Obtenido de www.scielo.br.com: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SIGNIFICADOS.
- SIGNIFICADOS. (2007). *significados.com*. Obtenido de significados.com: <https://www.significados.com/ph/>
- Soledispa, B., & Santana, E. (1998). *Acta oceanográfica del pacífico*. Estudio, INOCAR. Recuperado el 9 de Septiembre de 2019
- Tabla de mareas y solunares Bahía de Caraquez. (1 de octubre de 2019). *tablademareas.com*. Obtenido de tablademareas.com: <https://tablademareas.com/ec/manabi/bahia-de-caraquez>
- Taracido, L. J. (Mayo de 2009). Caracterización biológica del biofouling marino mediante métodos moleculares aislamiento y determinación de actividad quorum sensing de las especies implicadas en el proceso. Cádiz, Andalucía, España.
- Tobar Castro, E. A. (2015). estudio de las transformaciones metalográficas y propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor (ZAC) después del proceso de soldadura en los aceros ASTM A588 Y A36. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: ESPE.
- Trejos de Suescum. (1994). *Trejos de Suescum*.
- Vélez, L. M. (08 de Diciembre de 2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Permeabilidad y porosidad en concreto*. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Yepes, V. (s.f.). *victoryepes.blogs.upv.es*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/07/26/es-el-agua-de-mar-agresiva-para-el-hormigon/>

Anexos