



UNIVERSIDAD
**SAN IGNACIO
DE LOYOLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DEL MODELO SEMIPROBABILISTICO
PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL
RESIDUAL EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS
INDUSTRIALES EN CONCRETO ARMADO CON
PROBLEMAS DE CORROSIÓN**

**Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil**

**GEREMIAS MARCOS PAJUELO BEDON
(0000-0002-4063-0715)**

Asesor:

**Mg. Ing. Samir Arevalo Vidal
(0000-0002-6559-0334)**

Externo: M. Sc Ing. Cristian Sotomayor Cruz

**Lima - Perú
2021**

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL

.....

Presidente

.....

Jurado 1

.....

Jurado 2

Entregado el: / / 20...

Aprobado por:

.....
(Nombres y Apellidos completos del Bachiller)

.....
(Nombres y Apellidos completos del Asesor)

Graduando

Asesor de Tesis

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Geremias Marcos Pajuelo Bedon, identificado con DNI N° 72515217, Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:
“ESTUDIO DEL MODELO SEMIPROBABILISTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL RESIDUAL EN ESTRUCTURAS DE PLANTAS INDUSTRIALES EN CONCRETO ARMADO CON PROBLEMAS DE CORROSIÓN”.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 03 de agosto de 2021



.....
Geremias Marcos Pajuelo Bedon
DNI: 72515217

*Confiar en ti mismo no garantiza el éxito,
pero no hacerlo garantiza el fracaso*

Albert Bandura

Índice de Contenidos

Dedicatoria	XIII
Agradecimiento.....	XIV
Resumen	XV
Abstract	XVI
Capítulo I: Introducción.....	XVII
Capítulo II: Planteamiento del problema.....	1
2.1. <i>Situación Problemática.....</i>	1
2.1.1. Mercado de plantas industriales para la fabricación de productos químicos.....	1
2.1.2. El concreto: Riesgos de corrosión y durabilidad de la estructura	2
2.2. <i>Formulación del Problema.....</i>	5
2.3. <i>Justificación de la Investigación.....</i>	5
2.4. <i>Objetivos de la Investigación.....</i>	7
2.4.1. Objetivo General.	7
2.4.2. Objetivos Específicos.	7
Capítulo III: Marco teórico	8
3.1. <i>Antecedentes del Problema.....</i>	8
3.1.1. Antecedentes Internacionales.....	8
3.1.2. Antecedentes Nacionales.	10
3.2. <i>Bases Teóricas.....</i>	11
3.2.1. Planta industrial de fabricación de soda caustica y cloruros.....	11
3.2.2. Inspección de elementos estructurales en planta industrial.	12
3.2.3. Corrosión del acero en el concreto	13
3.2.3.1. Tipos de corrosión del acero en el concreto	14
3.2.4. Vida útil de una estructura de concreto armado	14
3.2.5. Métodos de predicción de vida útil.....	15
3.2.6. Aplicación del método semi – probabilístico	19
3.2.7. Estimación de la actividad de corrosión en el acero	22
3.3. <i>Marco Conceptual.....</i>	22
Capítulo IV: Hipótesis y Variables.....	24
4.1 <i>Hipótesis General.....</i>	24
4.2 <i>Hipótesis Específicas.....</i>	24
4.3 <i>Identificación de Variable.....</i>	24
4.4 <i>Operacionalización de Variables.....</i>	25
4.5 <i>Matriz de Consistencia.....</i>	26
Capítulo V: Metodología	29
5.1 <i>Tipo y Diseño de Investigación.....</i>	29
5.1.1 Tipo de Investigación.....	29
5.1.2 Diseño de Investigación.....	29
5.2 <i>Unidad de Análisis.....</i>	29

5.3	<i>Población de estudio</i>	29
5.4	<i>Tamaño de Muestra</i>	30
5.5	<i>Selección de Muestra</i>	30
5.6	<i>Técnicas de Recolección de Datos</i>	33
5.7	<i>Análisis e interpretación de la información</i>	33
Capítulo VI: Procedimiento y Método de Análisis		34
6.1	<i>Plan de trabajo para la inspección y evaluación de las estructuras de concreto armado en plantas industriales</i>	34
6.1.1	Inspección de estructuras que conforman los edificios para identificación y mapeo de patologías.	35
6.1.2	Evaluación de la calidad del concreto a través de las pruebas NDT y DT.....	41
6.1.3	Evaluación de la calidad del acero de refuerzo.	48
6.2	<i>Estimación de la vida útil residual de los edificios de concreto armado en plantas industriales</i>	53
Capítulo VII: Presentación y Discusión de Resultados		54
7.1.	<i>Inventario de patologías encontradas en los elementos estructurales de concreto</i>	54
7.2.	<i>Resultados de la evaluación de la calidad del concreto según ensayos NDT y DT</i>	66
7.2.1.	Resultados de la calidad del concreto según ensayo DT.....	66
7.2.2.	Resultados de la calidad del concreto según ensayo NDT.	69
7.3.	<i>Resultados de la evaluación de la calidad del acero</i>	75
7.4.	<i>Estimación de la vida útil residual de los edificios en las plantas industriales</i>	81
7.5.	<i>Comparación entre la vida útil residual y el ensayo de potencial de semiceldas</i>	90
Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones		94
8.1.	<i>Conclusiones</i>	94
8.1.1.	Identificación y mapeo de las ECA en plantas industriales.	94
8.1.2.	Evaluación de la calidad del concreto.	95
8.1.3.	Evaluación de la calidad del acero.....	95
8.1.4.	Relación existente entre la vida útil residual y el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo.	96
8.2.	<i>Recomendaciones</i>	97
Referencia		98
Anexos		101
10.1.	<i>Anexo 01: Formatos para la recolección de datos en campo y registro de ensayos en campo y laboratorio</i>	101
10.1.1.	Recolección de datos acerca de las condiciones globales del edificio.	101
10.1.2.	Cuantificación de daños por niveles de afectación en la estructura.....	103
10.1.3.	Recolección de los resultados del ensayo de compresión de testigos.....	104
10.1.4.	Recolección de los resultados de la prueba cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína.	105
10.1.5.	Recolección de los resultados de la evaluación de la calidad del acero.....	106
10.2.	<i>Anexo 02: Resultados del mapeo y la inspección visual en campo realizadas de cada edificio en la planta industrial</i>	108
10.2.1.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Decantador E-01 (ECA -01.	108
10.2.2.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Decantador E-02 (ECA -02)	112

10.2.3.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Decantador E-04 (ECA -03)	116
10.2.4.	Resultados del mapeo e inspección visual de Decantador E-05 (ECA -04).....	120
10.2.5.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA -05).....	124
10.2.6.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Reactores (ECA -06)	128
10.2.7.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Cloro Liquido (ECA -07).....	131
10.2.8.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Gris DP-03 (ECA -08)	135
10.2.9.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Roca Fosfórica (ECA -09)....	139
10.2.10.	Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA-10)	143
10.3.	<i>Anexo 03: Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo NDT y DT en campo realizadas de cada edificio en la planta industrial.....</i>	146
10.3.1.	Anexo 3.1: Resultado del ensayo de compresión de testigos de diamantina.....	146
10.3.2.	Anexo 3.1: Resultado del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína	156
10.4.	<i>Anexo 04: Resultados de la evaluación de la calidad del acero en campo realizadas a cada edificio en la planta industrial.</i>	166
10.4.1.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-01 (ECA-01)	166
10.4.2.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-02 (ECA-02)	169
10.4.3.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-04 (ECA-03)	172
10.4.4.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-05 (ECA-04)	175
10.4.5.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA-05)	178
10.4.6.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Reactores (ECA-06)...	181
10.4.7.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Cloro Liquido (ECA-07)....	184
10.4.8.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Gris DP-03 (ECA-08) ..	187
10.4.9.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Roca Fosfórica (ECA-09)..	190
10.4.10.	Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA-10)	193

Índice de Tablas

Tabla 1: Modelos para la predicción de la vida útil residual. Fuente (Mark & Hans, 2019)	10
Tabla 2: Tipos de corrosión en el acero y sus posibles causas. Elaboración propia	14
Tabla 3: Comparación de modelos para la estimación de la vida útil residual.	18
Tabla 4: Coeficiente de ambiente. Fuente (EHE-08, 2010)	20
Tabla 5: Coeficiente de aire ocluido. Fuente (EHE-08, 2010)	20
Tabla 6: Parámetros en función del tipo de conglomerante. Fuente (EHE-08, 2010)	20
Tabla 7: Velocidad de corrosión de acuerdo a la exposición. Fuente (EHE-08, 2010)	21
Tabla 8: Variables relacionadas con la vida útil residual. Fuente propia	24
Tabla 9: Indicar de Variable 1. Estado de la estructura de concreto armado. Fuente propia	25
Tabla 10: Operacionalización de la variable 2. Actividad de corrosión. Fuente propia	25
Tabla 11: Operacionalización de la variable "Vida útil". Fuente propia	26
Tabla 12: Matriz de consistencia. Fuente propia	27
Tabla 13. Descripción de las características de los edificios de concreto armado en estudio. Fuente propia	31
Tabla 14: Calificación de la extensión del daño de la estructura de concreto armado. Elaboración Propia.	36
Tabla 15: Calificación de la gravedad del daño observado en estructura de concreto armado. Elaboración propia.	36
Tabla 16: Calificación de la evolución del daño de la estructura de concreto armado. Elaboración propia.	36
Tabla 17: Codificación de daños por niveles de deterioro. Fuente Propia	37
Tabla 18: Calificación de niveles de deterioro en una estructura de concreto armado. Fuente (DIRECTIVA N°014-2019-MTC/18, 2019)	37
Tabla 19: Ejemplo de registro de datos sobre inspección de una estructura – Formato 01. Fuente propia	38
Tabla 20: Ejemplo para registro de datos en el formato 02. Fuente propia	40
Tabla 21: Ejemplo del registro en el formato 03 el ensayo de compresión de núcleos de diamantina. Fuente propia	43
Tabla 22: Ejemplo para el registro de datos en el formato 04. Fuente propia	46
Tabla 23: Ejemplo para el registro del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del formato 05.1. Fuente propia	50
Tabla 24: Ejemplo para el registro del espesor de diámetro del acero de refuerzo en formato 05.2. Fuente propia	51
Tabla 25: Ejemplo para el registro del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo en formato 05.3. Fuente propia	52
Tabla 26: Resumen de los resultados de la inspección visual en campo de los edificios de concreto armado de la planta industrial QUIMPAC. Fuente propia	54
Tabla 27: Resumen de los resultados de la calificación de la condición de los elementos estructurales de los edificios de concreto armado de la planta industrial QUIMPAC. Fuente propia	62
Tabla 28: Resumen de los resultados del ensayo de compresión de núcleos de diamantina en columna. Fuente propia	66
Tabla 29: Resumen de los resultados del ensayo de compresión de núcleos de diamantina en viga. Fuente propia	67
Tabla 30: Resumen de resultados del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenoltaleína para columnas. Fuente propia	70

Tabla 31: Resumen de resultados del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína para Vigas. Fuente propia.....	72
Tabla 32: Resultado de la evaluación de la calidad del acero en Columnas. Fuente propia.....	75
Tabla 33: Resultado de la evaluación de la calidad del acero en Vigas. Fuente propia.....	78
Tabla 34: Resultados de los coeficientes de ambiente, aireantes y parámetro de conglomerante. Fuente Propia.	81
Tabla 35: Calculo del periodo de iniciación para columnas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente Propia	83
Tabla 36: Calculo del periodo de iniciación para vigas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente Propia	84
Tabla 37: Calculo del periodo de propagación para columnas de las ECA en plantas industriales. Fuente propia.....	85
Tabla 38: Calculo del periodo de propagación para vigas de las ECA en plantas industriales. Fuente propia	86
Tabla 39: Estimación de la vida útil residual para las columnas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia.....	87
Tabla 40: Estimación de la vida útil residual para las vigas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia.....	88
Tabla 41: Propuesta de tabla de correlación para estimar la vida útil residual. Fuente propia.	92
Tabla 42: Resultados de la inspección visual en ampo del edificio decantador E- 01 (ECA - 01). Fuente Propia	108
Tabla 43: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio decantador E- 01 (ECA - 01). Fuente Propia	109
Tabla 44: Resultados de la inspección visual en campo del edificio decantador E- 02 (ECA - 02). Fuente Propia	112
Tabla 45: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio decantador E- 02 (ECA - 02). Fuente Propia	113
Tabla 46: Resultados de la inspección visual en campo del edificio decantador E- 04 (ECA - 03). Fuente Propia	116
Tabla 47: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio decantador E- 04 (ECA - 03). Fuente Propia	117
Tabla 48: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Columnas Pasarela (ECA - 04). Fuente Propia	120
Tabla 49: Cuantificación de daños por niveles de afectación de Decantador E-05 (ECA -04). Fuente Propia.....	121
Tabla 50: Resultados de la inspección visual en campo del edificio de Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia	124
Tabla 51: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Hornos De Ácido Clorhídrico - (ECA - 05). Fuente Propia	125
Tabla 52: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Reactores (ECA - 06). Fuente Propia.....	128
Tabla 53: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Reactores (ECA - 06). Fuente Propia.....	129
Tabla 54: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Cloro Liquido (ECA - 07). Fuente Propia	131
Tabla 55: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Cloro Liquido (ECA - 07). Fuente Propia	132
Tabla 56: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Gris DP -03 (ECA - 08). Fuente Propia.....	135

Tabla 57: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Gris DP -03 (ECA - 08). Fuente Propia	136
Tabla 58: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia	139
Tabla 59: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Roca fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia	140
Tabla 60: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Precipitador DP.08.5 (ECA-10). Fuente Propia.....	143
Tabla 61: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Precipitador DP -08-05 (ECA - 10). Fuente Propia.....	144
Tabla 62: Resultados del ensayo de comprensión de testigos – ECA 01. Fuente propia..	146
Tabla 63: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Decantador E-02 – ECA 02. Fuente propia	147
Tabla 64: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Decantador E-04 – ECA 03. Fuente propia	148
Tabla 65: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Edificio Decantador E-05 – ECA 04. Fuente propia	149
Tabla 66: Resultados del ensayo de comprensión de testigos de Hornos De Ácido Clorhídrico – ECA 05. Fuente propia	150
Tabla 67: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Edificio Reactores – ECA 06. Fuente propia	151
Tabla 68: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Edificio Cloro Liquido – ECA 07. Fuente propia	152
Tabla 69: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Edificio Gris DP-03 – ECA 08. Fuente propia	153
Tabla 70: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Roca fosfórica – ECA 09. Fuente propia	154
Tabla 71: Resultados del ensayo de comprensión de testigos Precipitador DP -08-05 – ECA 10. Fuente propia	155
Tabla 72: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-01 (ECA 01). Fuente propia	156
Tabla 73: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-02 (ECA 02). Fuente propia	157
Tabla 74: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-04 (ECA 03). Fuente propia	158
Tabla 75: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-05 (ECA 04). Fuente propia	159
Tabla 76: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA 05). Fuente propia.....	160
Tabla 77: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Reactores (ECA 06). Fuente propia	161
Tabla 78: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Cloro Liquido (ECA 07). Fuente propia	162
Tabla 79: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Edificio Gris DP-03 (ECA 08). Fuente propia.....	163
Tabla 80: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Roca fosfórica (ECA 09). Fuente propia.....	164
Tabla 81: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Precipitador DP -08-05 (ECA 10). Fuente propia.....	165

Tabla 82: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-01 (ECA – 01). Fuente propia	166
Tabla 83: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-01 (ECA – 01). Fuente propia	166
Tabla 84: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio decantador E-01 (ECA – 01). Fuente propia	168
Tabla 85: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-02 (ECA – 02). Fuente propia	169
Tabla 86: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-02 (ECA– 02). Fuente propia	169
Tabla 87: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio decantador E-02 (ECA– 02). Fuente propia	171
Tabla 88: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-04 (ECA – 03). Fuente propia	172
Tabla 89: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-04 (ECA– 03). Fuente propia	172
Tabla 90: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio decantador E-04 (ECA – 03). Fuente propia	174
Tabla 91: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-05 (ECA – 04). Fuente propia	175
Tabla 92: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-05 (ECA – 04). Fuente propia	175
Tabla 93: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Decantador E-05 (ECA – 04). Fuente propia	177
Tabla 94: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA – 05). Fuente propia.....	178
Tabla 95: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA – 05). Fuente propia.....	178
Tabla 96: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA – 05). Fuente propia.....	180
Tabla 97: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Reactores (ECA – 06). Fuente propia.....	181
Tabla 98: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Reactores (ECA – 06). Fuente propia.....	181
Tabla 99: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio Reactores (ECA – 06). Fuente propia	183
Tabla 100: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Cloro Liquido (ECA – 07). Fuente propia.....	184
Tabla 101: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Cloro Liquido (ECA – 07). Fuente propia.....	184
Tabla 102: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio Cloro Liquido (ECA – 07). Fuente propia.....	186
Tabla 103: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Gris DP-03 (ECA – 08). Fuente propia	187
Tabla 104: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Gris DP-03 (ECA – 08). Fuente propia	187
Tabla 105: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio Gris DP-03(ECA – 08). Fuente propia.....	189
Tabla 106: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Roca Fosfórica (ECA – 09). Fuente propia	190

Tabla 107: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Roca Fosfórica (ECA – 09). Fuente propia	190
Tabla 108: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio Roca Fosfórica (ECA – 09). Fuente propia	192
Tabla 109: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA – 10). Fuente propia	193
Tabla 110: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA – 10). Fuente propia	193
Tabla 111: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio Precipitador DP -08-05 (ECA – 10). Fuente propia	195

Índice de Figuras

Figura 1: Principales industrial del sector manufacturero del 2016. Fuente (OGEIEE, 2016)	1
Figura 2: Vista panorámica de la planta industrial de concreto armado de la planta Oquendo 1 – Callao. Fuente propia	2
Figura 3: Vista del muro de un edificio en concreto armado con daños por corrosión del acero de refuerzo. Fuente propia	3
Figura 4: Fases del deterioro de las estructuras de concreto armado por corrosión. Fuente (Francois et al, 2018).	8
Figura 5. Vista principal de los edificios (a) Casa Matriz, (b)Gimnasio, (c)Euroidiomas y (d)Torre Medica del Mall bellavista. Fuente (Mucching, 2018).	11
Figura 6. Pasarela de Roca fosfórica. Fuente propia	12
Figura 7. Almacenamiento de residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Fuente propia	12
Figura 8. Se presenta la representación gráfica del mecanismo de corrosión que se produce entre el concreto y el acero. Fuente (Cerna & Galicia, 2010)	13
Figura 9: Representación gráfica de la vida útil de una estructura de concreto armado. Fuente propia.	15
Figura 10. Representación gráfica del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo. Fuente (ASTM C876, 2009).	22
Figura 11. Vista del edificio Decantador E-01. Fuente propia	30
Figura 12. Vista del edificio Decantador E-02. Fuente propia	30
Figura 13. Vista del edificio Decantador E-04. Fuente propia	30
Figura 14. Vista general del edificio Decantador E-05. Fuente propia	30
Figura 15. Vista del edificio Hornos de Ácido Clorhídrico. Fuente propia	32
Figura 16. Ilustración panorámica del edificio Reactores. Fuente propia	32
Figura 17. Ilustración panorámica de edificio Cloro Liquido. Fuente propia	32
Figura 18. Ilustración de edificio Gris DP-03. Fuente propia	32
Figura 19. Ilustración de edificio Roca fosfórica. Fuente propia	32
Figura 20. Ilustración de edificio Precipitador DP-08-05. Fuente propia	32
Figura 21: Esquema para la inspección de edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia	34
Figura 22: Escaneo del elemento estructural para ubicación de acero de refuerzo. Fuente Propia	42
Figura 23: Extracción del núcleo de diamantina. Fuente Propia	42
Figura 24: Codificación de diamantina extraída de la estructura Columna. Fuente Propia	42
Figura 25: Flujo de trabajo para la extracción y ensayo de resistencia f'_c en núcleos de diamantina por tipo de estructura y edificio inspeccionado. Fuente propia	44
Figura 26: Medición de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína. Fuente propia	45
Figura 27: Etiqueta para la extracción de diamantina para el ensayo de carbonatación. Fuente propia	45
Figura 28: Evidencia de frente no carbonatada, toda la superficie de concreto se tiñe de color rojo purpura o rosa. Fuente propia	46
Figura 29: Evidencia de frente carbonatada en el espesor de la superficie donde el concreto no cambio de color a rojo purpura o rosa. Fuente propia	46
Figura 30: Flujo de trabajo para la extracción y prueba cualitativa de carbonatación del concreto. Fuente propia	47
Figura 31: Confección de regata de elemento estructural hasta encontrar acero de refuerzo. Fuente propia	48

Figura 32: Escarificado y limpieza de la parte superficial del elemento estructural. Fuente propia.....	48
Figura 33: Limpieza del refuerzo del elemento estructural. Fuente propia.....	49
Figura 34: Humedecimiento de la superficie del elemento estructural. Fuente propia.....	49
Figura 35: Medición del potencial eléctrico. Fuente propia.....	49
Figura 36: Etiqueta del ensayo de potencial deemiceldas. Fuente propia.....	49
Figura 37: Flujo de trabajo para la evaluación de la calidad del acero. Fuente propia.....	50
Figura 38: Representación gráfica del porcentaje de afectación del área superficial de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia.....	55
Figura 39: Delaminación de concreto(DC), (a) Volado losa aligerada e=25cm, (b) Viga Perimetral y (c) Columna central Eje D/C - 1er Piso, en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente propia.....	56
Figura 40: Reparación deficiente (RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente propia.....	56
Figura 41: Corrosión Expuesta (CE), (a) Columna eje E/C, (b) Escalera y (c) Columna Eje A/C, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente propia.....	56
Figura 42: (a) Fisuras <0.04 mm (F), Losa aligerada e=25cm perimetral, (b) Losa Aligerada e=25cm perimetral y (c) Viga Eje C, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente propia.....	57
Figura 43: Resumen de la cantidad de patologías y daños encontrados. Fuente propia.....	57
Figura 44: Diagrama de pareto de los edificios de concreto armado. Fuente propia.....	58
Figura 45: Diagrama de pareto del edificio decantador E.01 - ECA-01. Fuente propia.....	58
Figura 46: Diagrama de pareto del edificio decantador E.02 - ECA-02. Fuente propia.....	59
Figura 47: Diagrama de pareto del edificio decantador E.04 - ECA-03. Fuente propia.....	59
Figura 48: Diagrama de pareto del edificio decantador E.05 - ECA-04. Fuente propia.....	59
Figura 49: Diagrama de pareto del edificio Hornos Ácido Clorhídrico - ECA-05. Fuente propia.....	60
Figura 50: Diagrama de pareto del edificio Reactores - ECA-06. Fuente propia.....	60
Figura 51: Diagrama de pareto del edificio Cloro Liquido - ECA-07. Fuente propia.....	60
Figura 52: Diagrama de pareto del edificio Gris - ECA-08. Fuente propia.....	61
Figura 53: Diagrama de pareto del edificio Roca Fosfórica - ECA-09. Fuente propia.....	61
Figura 54: Diagrama de pareto del edificio Precipitadores DP.08.05 - ECA-10. Fuente propia.....	61
Figura 55: Incidencia de los tipos de daños y patologías en los edificios de concreto armado. Fuente propia.....	62
Figura 56: Representación gráfica de extensión del daño de los edificios de concreto armado. Fuente propia.....	64
Figura 57: Representación gráfica de la gravedad del daño de los edificios de concreto armado. Fuente propia.....	65
Figura 58: Representación de la resistencia a compresión de los núcleos de diamantina de los elementos estructurales. Fuente propia.....	69
Figura 59: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 01- D1, (b) ECA 01- D2, (c) ECA 01- D3- Edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente propia.....	69
Figura 60: Resultado del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína VS Condición Global en Columnas. Fuente propia.....	72
Figura 61: Resultado del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína VS Condición Global en Vigas. Fuente propia.....	74
Figura 62: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Decantador E-05 (ECA-04): (a) ECA 04_C1, (b) ECA 04_C2 y (c) ECA 04_C3. Fuente propia.....	74

Figura 63: Probabilidad de corrosión para columnas. Fuente propia	76
Figura 64: Registro fotográfico del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del edificio Hornos de ácido clorhídrico (ECA 05): (a) ECA 05_P1, (b) ECA 05_P2 y (c) ECA 05_P3. Fuente propia.....	77
Figura 65 Resultados de la evaluación del concreto y acero de refuerzo en columnas. Fuente propia	77
Figura 66: Probabilidad de corrosión para Vigas. Fuente propia	79
Figura 67: Porcentaje de carbonatación para vigas. Fuente propia	80
Figura 68: Resultados de la evaluación del concreto y acero de refuerzo en vigas. Fuente propia.....	81
Figura 69: Vida útil residual vs evaluación de la calidad del concreto armado para columnas. Fuente propia	89
Figura 70: Vida útil residual vs evaluación de la calidad del concreto armado para columnas. Fuente propia	89
Figura 71: Relación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión para columnas. Fuente propia.....	90
Figura 72: Relación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión en vigas. Fuente propia.....	91
Figura 73: Relación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión. Fuente propia .	91
Figura 74: Reparación deficiente(RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia.....	110
Figura 75: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje D- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia.....	111
Figura 76: Corrosión expuesta (CE), (a) losa maciza y (b) Viga perimetral exterior 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia.....	111
Figura 77: Fisuras <0.04 mm (F), (a) Central eje B y (b) Viga Eje D- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia.....	111
Figura 78: Reparación deficiente(RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia.....	114
Figura 79: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje E- 1er Piso, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia.....	115
Figura 80: Corrosión Expuesta, (a) Viga perimetral eje B-C, (b) Muro Perimetral Eje D-E 2do Piso y Columna Eje F/A en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia....	115
Figura 81: Fisuras <0.04 mm (F), Losa aligerada e=25cm perimetral, (b) Losa Aligerada e=25cm perimetral y (c) Viga Eje C, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia	115
Figura 82: Reparación deficiente(RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia.....	118
Figura 83: Delaminación de concreto(DC), (a) Volado losa aligerada e=25cm, (b) Viga Perimetral y (c) Columna central Eje D/C - 1er Piso, en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia	119
Figura 84: Corrosión Expuesta (CE), (a) Viga perimetral eje E-C, (b) Columna central Eje F-A 1er Piso y Viga perimetral en cara interior Eje F/A en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia	119
Figura 85: Fisuras <0.04 mm (F), (a) y (c) Techo losa aligerada e=25cm y (b) Medición de fisura en techo central, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia	119
Figura 86: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/C-1er Piso, (b) Columna Eje B/D-1er Piso, Volado losa aligerada e=25cm en edificio Decantador E-05 (ECA -04). Fuente Propia.....	122

Figura 87: Delaminación de concreto(DC), (a) Columna eje A/C-1er Piso, (b) Columna Eje B/D- 1er Piso y Viga central Eje C/d, en edificio Decantador E-05 (ECA -04). Fuente Propia	123
Figura 88: Corrosión Expuesta, (a) Columna eje E-C, (b) Techo losa maciza e=25cm y (c) Viga central en cara interior Eje F/A en edificio Decantador E-05 (ECA -04). Fuente Propia	123
Figura 89: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/E 2do Piso y (b) Columna Eje A/B- 2do Piso, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia	126
Figura 90: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia.....	126
Figura 91: Corrosión Expuesta (CE), (a) Columna eje E/C, (b) Escalera y (c) Columna Eje A/C, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia	127
Figura 92: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje B/C 2do Piso y (b) Columna Eje C-D- 2do Piso, en Edificio Reactores (ECA -06). Fuente Propia	130
Figura 93: Delaminación de concreto(DC), (a) Vigas centrales, (b) Columna Eje D/C 1er piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Reactores (ECA -06). Fuente Propia	130
Figura 94: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/E 2do Piso y (b) Columna Eje A/B- 2do Piso, en Edificio Cloro Liquido (ECA -07). Fuente Propia	133
Figura 95: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Cloro Liquido (ECA -07). Fuente Propia	133
Figura 96: Corrosión Expuesta (CE), (a) Viga eje E/C, (b) Viga Eje A/C, en Edificio Cloro Liquido (ECA -07). Fuente Propia	134
Figura 97: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/E 2do Piso y (b) Columna Eje A/B- 2do Piso, en Edificio Gris DP-03 (ECA - 08). Fuente Propia.....	137
Figura 98: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Gris DP-03 (ECA - 08). Fuente Propia	137
Figura 99: Fisuras <0.04 mm (F), (a) Techo losa aligerada e=25cm, en edificio Gris DP-03 (ECA-08). Fuente Propia.....	138
Figura 100: Reparación deficiente(RD), (a) Columna en V eje A/E 2do Piso, (b) Columna Eje A/B- 4to Piso y (c) Viga 3er piso, en Edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia	141
Figura 101: Delaminación de concreto(DC), (a) Columna Eje A/B, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Viga 1er piso, en Edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia	142
Figura 102: Corrosión Expuesta (CE), (a) Volado eje E/C, (b) Volado eje A/C, en Edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia	142
Figura 103: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Precipitador DP -08-02 (ECA - 10). Fuente Propia.....	145
Figura 104: Corrosión Expuesta (CE), (a) Columna eje E/C, (b) Escalera y (c) Columna Eje A/C, en Edificio Precipitador DP -08-02 (ECA - 10). Fuente Propia	145
Figura 105: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 01- D1, (b) ECA 01- D2, (c) ECA 01- D3- Edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia.....	146
Figura 106: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 02- D1, (b) ECA 02- D2, (c) ECA 02- D3- Edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia.....	147
Figura 107: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 03- D1, (b) ECA 03- D2, (c) ECA 03- D3- Edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia.....	148

Figura 108: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 04- D1, (b) ECA 04- D2, (c) ECA 04- D3- Edificio Decantador E - 05 (ECA-05). Fuente Propia.....	149
Figura 109: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 05- D3, (b) ECA 05- D3, (c) ECA 05- D3- Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA-05). Fuente Propia.....	150
Figura 110: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 06- D1, (b) ECA 06- D2, (c) ECA 06- D3- Edificio Reactores (ECA-06). Fuente Propia.....	151
Figura 111: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 07- D1, (b) ECA 07- D2, (c) ECA 07- D3- Edificio Cloro Liquido (ECA-07). Fuente Propia.....	152
Figura 112: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 08- D1, (b) ECA 08- D2, (c) ECA 08- D3- Edificio Gris (ECA-08). Fuente Propia.....	153
Figura 113: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 09- D1, (b) ECA 09- D2, (c) ECA 09- D3- Edificio Roca Fosfórica (ECA-09). Fuente Propia	154
Figura 114: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 10- D1, (b) ECA 10- D2, (c) ECA 10- D3- Precipitador DP -08-05 – ECA 10 (ECA-09). Fuente Propia ..	155
Figura 115: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Decantador E-01 (ECA-01): (a) ECA 01_C1, (b) ECA 01_C2 y (c) ECA 01_C3. Fuente propia	156
Figura 116: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Decantador E-02 (ECA-02): (a) ECA 02_C1, (b) ECA 02_C2 y (c) ECA 02_C3. Fuente propia	157
Figura 117: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Decantador E-04 (ECA-03): (a) ECA 03_C1, (b) ECA 03_C2 y (c) ECA 03_C3. Fuente propia	158
Figura 118: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Decantador E-05 (ECA-04): (a) ECA 04_C1, (b) ECA 04_C2 y (c) ECA 04_C3. Fuente propia	159
Figura 119: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA 05): (a) ECA 05_C1, (b) ECA 05_C2 y (c) ECA 05_C3. Fuente propia	160
Figura 120: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Hornos Reactores (ECA 06): (a) ECA 06_C1, (b) ECA 06_C2 y (c) ECA 06_C3. Fuente propia.....	161
Figura 121: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Cloro Liquido (ECA 07): (a) ECA 07_C1, (b) ECA 07_C2 y (c) ECA 07_C3. Fuente propia	162
Figura 122: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Girs DP-03 (ECA 08): (a) ECA 08_C1, (b) ECA 08_C2 y (c) ECA 08_C3. Fuente propia	163
Figura 123: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Roca fosfórica (ECA 09): (a) ECA 09_C1, (b) ECA 09_C2 y (c) ECA 09_C3. Fuente propia	164
Figura 124: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Precipitador DP-08-05 (ECA 10): (a) ECA 10_C1, (b) ECA 10_C2 y (c) ECA 10_C3. Fuente propia.....	165
Figura 125: Registro fotográfico del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-01 (ECA 01): (a) ECA 01_P1, (b) ECA 01_P2 y (c) ECA 01_P3. Fuente propia	167
Figura 126: Registro fotográfico del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-02 (ECA 02): (a) ECA 02_P1, (b) ECA 02_P2 y (c) ECA 02_P3. Fuente propia	170

Figura 127: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-04 (ECA 03): (a) ECA 03_P1, (b) ECA 03_P2 y (c) ECA 03_P3. Fuente propia	173
Figura 128: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-05 (ECA 04): (a) ECA 04_P1, (b) ECA 04_P2 y (c) ECA 04_P3. Fuente propia	176
Figura 129: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Hornos de Ácido clorhídrico (ECA 05): (a) ECA 05_P1, (b) ECA 05_P2 y (c) ECA 05_P3. Fuente propia	179
Figura 130: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Reactores (ECA 06): (a) ECA 06_P1, (b) ECA 06_P2 y (c) ECA 06_P3. Fuente propia	182
Figura 131: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Cloro Líquido (ECA 07): (a) ECA 07_P1, (b) ECA 07_P2 y (c) ECA 07_P3. Fuente propia	185
Figura 132: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Gris DP-03 (ECA 08): (a) ECA 08_P1, (b) ECA 08_P2 y (c) ECA 08_P3. Fuente propia	188
Figura 133: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Roca Fosfórica (ECA 09): (a) ECA 09_P1, (b) ECA 09_P2 y (c) ECA 09_P3. Fuente propia	191
Figura 134: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Precipitador DP-08-05 (ECA 10): (a) ECA 10_P1, (b) ECA 10_P2 y (c) ECA 10_P3. Fuente propia	194

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Vida útil residual según el EURO – código. Fuente (Perez, 2010).....	9
Ecuación 2: Perdida de la sección transversal del acero. (Francois et al, 2018)	9
Ecuación 3: Primera ley de Fick. Fuente (Zina & Ebrahim, 2020).....	9
Ecuación 4: Variación de la primera Ley de Fick para estimar la vida útil residual. Fuente (Zina & Ebrahim, 2020)	9
Ecuación 5: Método de factores. Fuente (Ortega, 2012).....	16
Ecuación 6: Tiempo del periodo de iniciación. Fuente (EHE-08, 2010)	19
Ecuación 7: Coeficiente de carbonatación. Fuente (EHE-08, 2010).....	19
Ecuación 8: Resistencia a compresión promedio del concreto. Fuente (EHE-08, 2010)....	19
Ecuación 9: Periodo de propagación. Fuente (EHE-08, 2010).....	21
Ecuación 10: Estimación de la vida útil residual. Fuente (EHE-08, 2010).....	21
Ecuación 11: Calculo para la estimación de la vida útil residual. Fuente (EHE-08, 2010)	22

Dedicatoria

A mis padres.

Agradecimiento

La presente investigación no se hubiera realizado sin el apoyo de muchas personas e instituciones que han contribuido en el desarrollo con aportes económicos, experiencia, conocimiento y orientación, con quienes estaré eternamente agradecido.

Quiero agradecer a la empresa Top Consult Ingeniería Sac, especialmente al Ing. William Baca y al Ing. Luis Flores, que me permitieron desarrollarme profesionalmente dentro de sus instalaciones y permitirme desarrollar esta investigación.

Del mismo modo expresar un agradecimiento especial al Ing. Samir Arevalo por el asesoramiento brindado para el desarrollo de la presente investigación. De la misma manera al Ing. Cristian Sotomayor, por su orientación desde la concepción de la investigación hasta finalizar la misma.

.

Resumen

El incremento de los problemas patológicos y daños en estructuras de concreto armado en plantas industriales motivó el estudio del modelo semi-probabilístico para la estimación de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado en plantas industriales con riesgo de corrosión. Para lo cual se realizará la identificación y mapeo de las estructuras de concreto armado, la evaluación de la calidad del concreto y acero. Además, se determinará la relación existente entre la vida útil residual versus el ensayo de potencial de semiceldas refuerzo.

En la identificación y mapeo de las patologías y/o daños, se encontró que el elemento con más daños es la columna seguida por la viga. En la evaluación de la calidad del concreto se observó que el 40% de edificaciones muestran un deterioro mayor al 50%. En la evaluación de la calidad del acero se evidenció que el 30% de los edificios se encuentran con una probabilidad de corrosión mayor al 90%. En la estimación de la vida útil residual se comprobó que los resultados obtenidos dependen directamente de la calidad del concreto armado y se relacionan con la inspección visual.

El resultado de la investigación llevada en la Planta Industrial de Oquendo 01 ubicada en Callao, Callao, Callao, donde se producen elementos químicos como: soda caustica, cloro, fosfato bicálcico y sal. Demuestra que los Edificios de concreto armado presentan daños superficiales severos en los elementos estructurales principales, lo cual impacta directamente en la disminución de la vida útil residual.

Palabras Claves: Vida útil residual, potencial de corrosión, patología, daños, corrosión.

Abstract

The increase in pathological problems and damage to reinforced concrete structures in industrial plants led the study of the semi-probabilistic model for estimating the residual useful life of reinforced concrete structures in industrial plants with risk of corrosion. For this study, the identification and mapping of the reinforced concrete structures, the evaluation of the quality of the concrete and steel will be carried out. In addition, the relationship between the residual useful life versus the reinforcement half-cell potential test will be determined.

In the identification and mapping of the pathologies and / or damages, it was found that the element with the most damages is the column followed by the beam. In the evaluation of the quality of the concrete, it was observed that 40% of buildings show a deterioration greater than 50 %. In the evaluation of the quality of the steel, it was evidenced that 30% of the buildings have a probability of corrosion greater than 90%. In estimating the residual useful life, it was found that the results obtained depend directly on the quality of the reinforced concrete and are related to the visual inspection.

The result of the research carried out at the Oquendo 01 Industrial Plant located in Callao, Callao, Callao, where chemical elements such as: caustic soda, chlorine, bicalcium phosphate and salt are produced. It shows that reinforced concrete buildings have severe surface damage to the main structural elements, which directly impacts the decrease in residual service life.

Keywords: Residual useful life, corrosion potential; pathologies; damages; corrosion

Capítulo I: Introducción

En Perú, el crecimiento económico de los últimos 50 años ha impulsado la construcción de plantas industriales, que a la fecha están experimentando un alto grado de deterioro. Asimismo, se estima que el crecimiento de la construcción de nuevas plantas industriales para la fabricación de productos químicos seguirá creciendo, debido a que, en los últimos 20 años existe un crecimiento significativo en el consumo de productos químicos (cloro, soda caustica, detergentes y entre otros) para el uso doméstico e industrial.

El costo que genera la reparación de estructuras con daños patológicos en el concreto armado es aproximadamente de US\$2,5 billones. Este impacto económico que se genera en las estructuras puede generarse por fallas en la etapa de la construcción, errores de diseño, calidad de material, deficiencias en el mantenimiento, sobrecargas, impactos, movimientos de la estructura y alteraciones en el terreno. Sin embargo, para el desarrollo sostenible y el crecimiento económico de la sociedad moderna, es muy importante evaluar la fiabilidad y durabilidad de la estructura. Por esta razón, se debe establecer métodos para estimar la vida útil residual del edificio.

El incremento de problemas patológicos y daños a estructuras de concreto armado en plantas industriales, ha incrementado la necesidad de normativas y métodos para el diagnóstico y reparación de los elementos estructurales. Según diferentes autores la dificultad y el costo de la reparación depende del nivel de deterioro de la estructura. Además, debido a el funcionamiento permanente de las maquinarias y equipos de las plantas industriales, es importante realizar intervenciones versátiles a las estructuras por lo que se debe plantear nuevas metodologías para estimar la vida útil residual de un edificio de concreto armado.

La investigación sobre la vida útil residual data de los años 70 y su importancia perdura hasta la actualidad. Actualmente se han venido proponiendo varios modelos de predicción por otros investigadores (Andrade, 1989; Maage, 1996; Baroghel-Bouny, 2002; Sagues, 2003; Castro Broges, 2007). En la mayoría de los modelos para la predicción la vida útil residual de una estructura de concreto armado se evalúa dos etapas principalmente, el tiempo que inicia la corrosión y el tiempo en que se propaga.

Las investigaciones realizadas en el Perú acerca de las patologías del concreto indica que la presencia de fisuras y la corrosión afectan directamente la durabilidad, disminuyendo notablemente la vida útil de servicio esperado del edificio. Asimismo, según el estudio de predicción de la vida útil residual realizada para las estructuras del CC Mall Plaza Bellavista-Lima-Callao, se debe realizar un seguimiento periódico anual a las estructuras.

En la investigación se estudiará el modelo semi probabilístico para estimar la vida útil residual de concreto armado en la planta industrial OQUENDO 01 ubicada en Callao-Callao-Callao. Para lo cual se identificarán y mapearán los diferentes daños y patologías en el concreto armado, se evaluará la calidad del concreto y el acero, y se comparará la relación que existe entre la vida útil y el potencial de semiceldas de refuerzo de las estructuras de concreto armado.

Las variables que se estudiarán en la investigación son: estado de la estructura de concreto armado, actividad de corrosión y vida útil residual. Para evaluar el estado de las estructuras se realizará la inspección visual, periodo de iniciación(t_i) y el periodo de propagación(t_p).

Para determinar la actividad de corrosión se evaluará mediante el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo. Finalmente, la vida útil residual es la suma del periodo de iniciación y propagación de la corrosión en la estructura de concreto armado.

De acuerdo a los tipos de datos analizados, esta investigación es un estudio cuantitativo y, de acuerdo a la metodología utilizada para sustentar la hipótesis, es un estudio no Experimental-Correlacional. En cuanto al diseño del estudio se considera No Experimental de tipo Ex Posfacto y de campo. La investigación se realizará en la planta industrial Oquendo 1 de la empresa QUIMICAS DEL PACIFICO (QUIMPAC), ubicada en la avenida Néstor Gambeta 8585, en el distrito del Callao, Provincia constitucional del Callao. La planta Oquendo 01 cuenta aproximadamente con 50 edificios de las cuales el estudio contempla abordar 10 edificios de concreto armado y la clasificación de la muestra se ha realizado por un proceso probabilístico-estratificado.

Los 10 edificios en estudio son estructuras de concreto armado de sistema dual y aporticado desde 2 niveles hasta 6 niveles. Estos edificios fueron construidos en los siguientes años: Edificios Decantador E-01, Decantador E-02, Decantador E-04, Decantador E-05, Gris DP-03, Roca Fosfórica, Precipitador DP-08-05 (1989), el edificio Cloro liquido (1982), el edificio Hornos de Ácido Clorhídrico y Reactores (1981), en general estas edificaciones tienen una antigüedad de 30 a 40 años.

Para realizar el procesamiento y método de análisis, se implementará un plan de trabajo para la inspección y evaluación de las estructuras de concreto armado en plantas industriales. De la siguiente manera:

- Inspección de las estructuras para la identificación y mapeo de las patologías y/o daños, en la inspección visual se implementó el formato 1 y formato 2 para la recolección de datos generales y específicos de cada edificio. En este formato se describe los elementos inspeccionados, los daños encontrados y la evaluación de la situación en la que se encuentra el elemento estructural de acuerdo a la guía de inspección del MTC.
- La evaluación de la calidad del concreto mediante ensayos NDT y DT, se realizará mediante la extracción de núcleos de diamantina para determinar la resistencia a compresión del concreto. Además, se realizará la prueba cualitativa con el indicador de fenolftaleína, para realizar la medición de la carbonatación del concreto.
- La evaluación de la calidad del acero mediante el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo, medición del recubrimiento y la medición del diámetro de la barra corrugada de acero de refuerzo.
- Estimación de la vida útil residual de los edificios de concreto armado en plantas industriales.

Conforme a los resultados de la inspección visual, se aprecia que los elementos estructurales con mayor área de afectación son las columnas, seguida por las vigas, los muros y losas. De igual manera, se observó que el edificio que presenta mayores daños es el ECA-08 seguida por el edificio ECA-09. Asimismo, se determinó que los principales daños y/o patologías encontradas son delaminación del concreto, reparación deficiente, corrosión expuesta y fisuraciones.

De acuerdo a la evaluación del concreto se puede indicar que, en el ensayo a compresión de testigos de diamantina se encontró que el 80% de las edificaciones cumplen con el

requerimiento mínimo de la norma E-060 del R.N.E. Con respecto al ensayo realizado para determinar la profundidad de carbonatación en las columnas y vigas para los diez edificios se encontró que aproximadamente el 40% de las edificaciones muestran un deterioro mayor al 50% de sus recubrimientos.

Como resultado de la evaluación del acero de refuerzo se puede mencionar que aproximadamente el 30% de los edificios se encuentran en una probabilidad de corrosión mayor al 90%. Por ende, se observó una relación entre el incremento de potencial de corrosión y el incremento del diámetro del acero de refuerzo. Además, que cuanto menor sea el recubrimiento mayor es el potencial de corrosión.

Para la predicción de la vida útil residual, se estimó el periodo de iniciación de la corrosión, donde se identificó que el resultado depende directamente de la resistencia del concreto y la penetración de frente carbonatado. En la estimación del periodo de propagación se identificó que la velocidad de corrosión es la misma para todos los edificios, y que el espesor de recubrimiento y el diámetro del acero son influyentes en el resultado final.

Consecuentemente, se realizó la comparación entre la vida útil residual versus el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo. Donde se obtuvo una función polinómica para las columnas y las vigas por separado, para finalmente unir las funciones y obtener una función polinómica con una confiabilidad de R^2 igual a 0.9013. Además, para un mejor entendimiento y facilitar la lectura de la estimación de la vida útil residual se propuso una tabla de correlación para estimar la vida útil residual mediante el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo.

Finalmente, se puede concluir que de acuerdo a la inspección visual los principales elementos estructurales que se encuentran con daños patológicos son tres: con 90.34% en columnas, 87.79% en vigas y 77.81% en losas. Asimismo, se evidenció que, de acuerdo al ensayo de compresión de núcleos de diamantina, el 80% de los edificios cumplen con el requerimiento mínimo de la NTP E-060. En la prueba de carbonatación se encontró que esto se comporta de acuerdo a la calificación de la condición global realizada en la inspección visual. En la evaluación de la calidad del acero se demostró que, a menor resistencia a compresión, menor recubrimiento del concreto y mayor diámetro del acero de refuerzo existe el incremento del frente carbonatado y el aumento del potencial de corrosión.

En cuanto a la predicción de la vida útil residual, se puede indicar que, a mayor resistencia a compresión, mayor recubrimiento mayor vida útil residual, y a mayor carbonatación mayor diámetro del acero de refuerzo la vida útil residual disminuye.

La integración de la comparación realizada de la vida útil residual versus el potencial de corrosión para las columnas y vigas, se puede concluir que a mayor potencial de corrosión la vida útil residual es menor y que un edificio en condiciones similares al estudio tendría una vida útil residual aproximado de entre 17.24 y 23.86 años.

Capítulo II: Planteamiento del problema

2.1. Situación Problemática.

2.1.1. Mercado de plantas industriales para la fabricación de productos químicos.

En el del Perú el sector de manufactura es el segundo con mayor aporte a la economía nacional, teniendo una participación del 13% al PBI, 9.5% a la Población Económicamente Activa (PEA) y más de 85,000 empresas establecidas generalmente en la Ciudad de Lima. Las actividades más importantes de la industria manufacturera son Alimentos y bebidas (23.3%), Químicos (12.7%), Metales comunes (12%), productos minerales no metálicos (8.7%), Textil (9.3%) y otras industrias 35% como se muestra en la Figura 1. (OGEIEE, 2016)

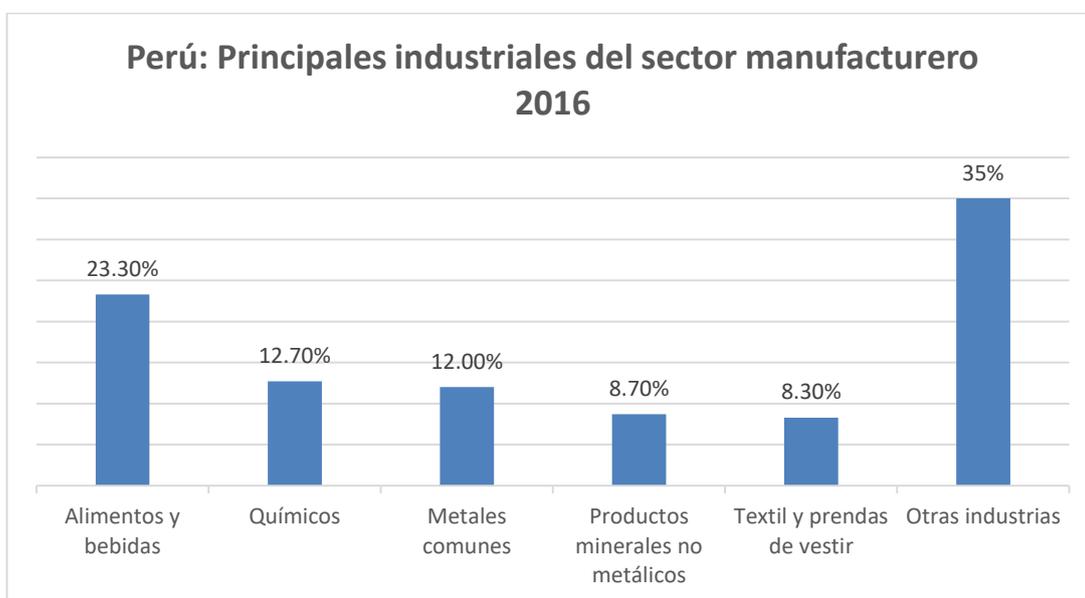


Figura 1: Principales industrial del sector manufacturero del 2016. Fuente (OGEIEE, 2016)

En diciembre del 2020 el desempeño del sector industrial manufacturera reportó un aumento del 9.2% en la producción con relación al mismo mes del año anterior. Este crecimiento refleja la necesidad de seguir construyendo nuevas plantas de manufactura para dar continuidad a las actividades de industria. Entre las que destacan, el sector de manufactura química, metales comunes y productos minerales, cuyas edificaciones de parques industriales demandan la construcción de elementos estructurales resistentes y durables al ataque químico y exposición frente a condiciones de clima agresivo. (ogeiee, 2020).

El establecimiento de zonas industriales en las principales ciudades del Perú, es una herramienta que se debe implementar para asegurar el crecimiento de las industrias (Marquez, 2019). Por esta razón, en Lima se encuentran **seis parques industriales, la mayoría ubicados cerca a litoral marino**, en los distritos Lurín, Chilca, Lurigancho y un nuevo mega proyecto en desarrollo en Ancón. (SNI, 2019)

Según los estudios realizados por Focus Economics Consensus Forecast Latin se proyectó un crecimiento económico para el sector de la manufactura a partir del 2021 (13.14%), 2022 (5.9%) y el 2023 (5.1%) con lo que la producción industrial del Perú registraría el mayor crecimiento que el promedio de América Latina. En contraste, en el 2020, la actividad manufacturera del Perú decreció 20.1% por efectos generadas por la covid 19. (andina.pe, 2020)

En los últimos 20 años, el crecimiento significativo del consumo de productos químicos para uso doméstico industrial ha conllevado a incrementar la demanda de plantas industriales para el procesamiento y suministro de estos materiales (figura 2). Productos como el cloro, soda cáustica, detergentes, entre otros representan un alto riesgo para la formación de patologías tanto en el concreto como el acero de refuerzo que conforman los elementos estructurales de las plantas industriales. (Contreras, Ravelo, & De Jesus, 2014). Por lo que existe la necesidad junto con el crecimiento de las plantas, en predecir y monitorear su buen estado de conservación posterior a la construcción de estas plantas industriales. (Cruz C. , 2016)



Figura 2: Vista panorámica de la planta industrial de concreto armado de la planta Oquendo 1 – Callao. Fuente propia

2.1.2. El concreto: Riesgos de corrosión y durabilidad de la estructura

La NACE International calcula que el costo que genera la corrosión es de US\$2,5 billones, cantidad que se puede aproximar al 3.4% del producto bruto mundial. Asimismo, la implementación de prácticas de prevención de las estructuras de concreto armado frente a agentes agresivos, podría generar ahorros significativos entre 15 a 35% del costo total, que se puede traducir en un ahorro de US\$375mil y US\$875 mil millones. (NACE, 2016)

Las paralizaciones generadas en plantas industriales por fallas en los equipos u otros factores como la presencia de daños por patologías de corrosión en sus edificaciones (Figura 3), son algunos de los principales problemas porque generan tiempos muertos que afectan la producción y los tiempos de entrega en los pedidos. Por ejemplo, la empresa QUIMPAC, que tiene como principal actividad de producción la fabricación de soda caustica, cloro, fosfato bicálcico y sal para uso doméstico e industrial, ha estimado pérdidas mensuales de 295 toneladas de hidróxido de sodio líquido entre noviembre 2018 y abril 2019 por falla de equipos (Cayllahua, 2019). Lo que representa una pérdida económica de 300 dólares por tonelada teniendo una pérdida total mensual aproximadamente de US\$ 84,075.



Figura 3: Vista del muro de un edificio en concreto armado con daños por corrosión del acero de refuerzo. Fuente propia

En las construcciones de los edificios de concreto armado se pensó que el material tenía una duración ilimitada, por lo que las normas de diseño no consideraban la prevención de las estructuras frente a agentes externos que al transcurrir del tiempo podrían generar daños a las estructuras (San Juan, 2002). En consecuencia, actualmente estas edificaciones antiguas mantienen serios problemas patológicos. Se estima que principalmente los daños generados son debidos a la corrosión.

Por otro lado, el impacto económico que genera los daños y patologías en las estructuras de concreto armado son causadas por tres grupos. Primero, por fallas en la etapa de la construcción que pueden ser errores de diseño, la calidad de los materiales, deficiencia en la ejecución o mantenimiento de la edificación. Segundo, se pueden generar por las sobrecargas, los impactos, movimientos de la estructura y alteraciones del terreno. Tercero, por causa de deterioro por agentes físicos o químicos. (Moreno E. , 2008)

Asimismo, para el crecimiento sustentable y el desarrollo económico de la sociedad moderna están la confiabilidad y la durabilidad de estructuras e instalación de infraestructura, destacando la estructura de concreto armado (Felix et al, 2018). Sin embargo, estas estructuras son vulnerables a daños por ataques de agentes químicos y físicos que, en un periodo largo de tiempo puede disminuir el desempeño estructural del edificio debido a cargas solicitantes de servicio, por lo tanto, ocasionar accidentes (Cruz & Hernandez, 2017) Por ello, en los últimos años se vienen desarrollando avances en la investigación del análisis del deterioro de estructuras de concreto armado por daños patológicos, siendo el tema principal de estudio, la corrosión y la predicción de la vida útil residual de estructuras de concreto armado. (Perez, 2010)

Por consiguiente, la corrosión del concreto armado en ambientes de alto contenido de sales es un grave problema, no solo por los gastos de reparación que pueden ocasionar, si no que **en algunas situaciones se ve afectada la seguridad del personal a cargo de las plantas** (Hernández, et al., 2016). Por ejemplo, en el caso de fábricas de cloruros, centros de decantación de minerales, decantación de sales, fábricas textiles, entre otras industrias, donde los trabajos dentro de las instalaciones son las 24 horas del día se evidenció que la seguridad del personal fue afectada (Cayllahua, 2019). Por ello, las probabilidades de corrosión en los elementos estructurales de una edificación de planta industrial son altas,

porque se utilizan químicos con alto contenido de ion cloruro, lo cual hace que la corrosión se acelere. Asimismo, la iniciación de la corrosión se desarrolla con mayor facilidad por las micro - fisuras que se generan en los elementos estructurales, debido a que los agentes oxidantes penetran el recubrimiento y dan inicio a la corrosión. (Mark & Hans, 2019)

A raíz de los problemas crecientes de corrosión en plantas industriales, en los últimos años se ha incrementado la demanda de normativas, guías metodológicas y estudios, para el diagnóstico y reparación de edificios de concreto armado con daños patológicos. Se conoce que los profesionales ingenieros, arquitectos, proveedores de materiales y empresarios del sector, encuentran una industria necesitada de definición técnica y guías o prácticas estandarizadas, cuya escasez conduce a reparaciones pobremente diseñadas, materiales defectuosamente concebidos, y procedimientos en el campo pobremente ejecutados. (Emmons P, 2005)

En general, el costo del mantenimiento de las estructuras de concreto armado con daños patológicos principalmente por la corrosión varía dependiendo del nivel de deterioro en la que se encuentre. Si la estructura se encuentra en el periodo de iniciación, el costo de mantenimiento será económico, por el contrario, si la estructura se encuentra en el periodo de propagación el costo dependerá dependiendo del nivel de propagación y será mayor que la primera etapa. Es ahí cuando es importante determinar la vida útil de la edificación indiferentemente de la etapa en la que se encuentre. Para así definir si la estructura ha alcanzado el estado límite de su servicio o se puede realizar una reparación garantizando una durabilidad conveniente. (Yanaka, 2016)

El problema principal en las Estructura de Concreto Armado (ECA) con daños patológicos es determinar la vida útil de servicio de la edificación (Hernández, et al., 2016). Las preguntas que surgen en la inspección de estos elementos son: ¿Cuánto tiempo de vida útil de servicio tendrá la edificación sin la intervención de una reparación? ¿Cuánto tiempo de vida útil de servicio tendrá la edificación al realizar la reparación? Para responder a estas preguntas actualmente se han realizado diferentes modelos: en base a experiencia anteriores, basadas en ensayo acelerados, a través de métodos determinísticos, métodos estocásticos o probabilísticos. (Mark & Hans, 2019)

En las edificaciones de concreto armado (ECA) de plantas industriales se incorporan más incógnitas como ¿Cuál es el tiempo de la intervención que se realizara a la estructura para predecir la vida útil? ¿Es necesario, paralizar la planta para realizar los ensayos correspondientes? ¿Es conveniente su intervención en reparación? ¿Es conveniente la demolición y construcción de un nuevo edificio? Por estas razones es importante buscar soluciones versátiles con el menor tiempo posible de intervención a la estructura y determinar con un margen de error mínimo la durabilidad y funcionalidad del edificio.

Debido a estos problemas visualizados donde se observa un incremento notable de estructuras atacadas por la corrosión y la carencia de modelos confiables y simples para predecir la vida útil residual en ECA en el menor tiempo y costo posible, es que se aborda la presente investigación, donde a continuación se formulan los problemas generales y específicos para su atención en el estudio.

2.2. Formulación del Problema.

Problema General

- ¿Cómo estimar la vida útil residual de estructuras de concreto armado en plantas industriales con riesgo de corrosión cuando los modelos existentes no son tan confiables?

Problemas específicos

- ¿De qué manera la identificación y mapeo influye en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?
- ¿De qué manera la calidad del concreto influye en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?
- ¿De qué manera la calidad de acero de refuerzo influye en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?
- ¿Cuál es la correlación que existe entre la vida útil residual estimada mediante el modelo semi-probabilístico y el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?

2.3. Justificación de la Investigación.

Frente al incremento de problemas de corrosión en las plantas industriales de concreto armado, existe la necesidad de abordar estudios para mitigar la presencia de daños, estudiando una metodología confiable para estimar la vida útil residual y trabajando en las oportunidades de mejora en la inspección y reparación de las estructuras que conforman las plantas industriales. En nuestro caso, abordaremos el estudio de un método para cuantificar la vida útil residual de las estructuras vigas, columnas y losas que conforman el esqueleto principal de los edificios de las plantas industriales.

Se realizará el análisis e interpretación de datos de campo obtenidos en la planta industrial Oquendo 1, para realizar una propuesta sobre la estimación de la vida útil de las estructuras de concreto armado con un ensayo más versátil y un resultado aproximado que ayude en la toma de decisiones para la intervención de una edificación industrial. Además, se analizará el impacto económico que genera la reparación de una edificación, para determinar las posibles soluciones económicamente convenientes dependiendo de la vida útil de la edificación.

a) Aporte científico

La presente investigación contribuye con la aplicación de metodología para estimar la vida útil residual en las estructuras mediante el empleo de tablas para recolección de datos en campo como los ensayos destructivos (NDT) y la inspección visual.

Asimismo, se realizará una tabla de correlación y una ecuación para estimar la vida útil residual de las ECA mediante el ensayo de potencial de semiceldas, lo cual facilitará la

predicción de la vida útil residual de una ECA y reducirá el costo del estudio para la estimación.

b) Aporte social

La presente investigación contribuye a la difusión de metodología de predicción para los profesionales ingenieros, arquitectos, contratistas, industrias de aditivos, industrias de materiales, empresarios y entre otros, quienes tendrán una referencia para plantear soluciones adecuadas a problemas similares planteados en la investigación.

Por otro lado, el estudio contribuye a la confección de un manual de mantenimiento preventivo de estructuras para mitigar la aparición de daños, creación de nuevos protocolos de intervención para la preservación de las edificaciones lo cual generará un impacto positivo, dado que se realizará una intervención versátil a la estructura con daños por corrosión, donde el propietario podrá tomar una decisión más acertada sobre la intervención de la edificación, con el menor costo y mayor beneficio posible, evitando accidentes en las plantas industriales.

c) Aporte económico

Uno de los principales problemas de las edificaciones en concreto armado con daños por corrosión, es la deficiente intervención de sus estructuras, las cuales son realizadas sin una metodología de predicción de vida útil residual para tener la certeza de qué técnicas y materiales de reparación se deben emplear. Por otro lado, estas reparaciones en las estructuras al no perdurar en el tiempo, encarecen más los costos y comprometen la funcionalidad de las edificaciones. Por medio de la presente investigación las personas responsables de un proyecto podrán decidir con mayor certeza la intervención de un edificio con daños de corrosión, y realizar una inversión oportuna y sostenible en el tiempo.

d) Aporte humanístico o cultural

Las estructuras afectadas en las plantas industriales, pueden generar accidentes y hasta pérdidas de vidas humanas si no se monitorea su estado de conservación de manera periódica, e intervención oportuna de los elementos estructurales. Asimismo, en estas plantas industriales se almacenan y fabrican diferentes productos químicos altamente contaminantes, lo cual, en un evento de falla de los elementos estructurales, se generaría la fuga de todos los químicos tóxicos almacenados, generando daños irreparables para la población que se encuentra en entorno a la zona industrial.

2.4.Objetivos de la Investigación

2.4.1. Objetivo General.

- Estimar la vida útil residual de estructuras de concreto armado con riesgos de corrosión mediante el modelo semi - probabilístico en plantas industriales en Callao – Callao - Callao.

2.4.2. Objetivos Específicos.

- Realizar la inspección preliminar en estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión mediante la identificación y mapeo para diagnosticar la vida útil residual de estas estructuras en plantas industriales en Callao – Callao - Callao.
- Evaluar la calidad del concreto para el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión a través de ensayos NDT y DT en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.
- Evaluar la calidad del acero de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión para determinar la probabilidad de corrosión en las barras de acero mediante la confección de regatas y el ensayo potencial de semiceldas en plantas industriales en Callao– Callao – Callao
- Establecer la correlación existente entre la vida útil residual estimada y el potencial de corrosión en elementos estructurales mediante el modelo semi-probabilístico y el ensayo de potencial de semiceldas refuerzo para confeccionar una tabla simplificada de estimación de vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.

Capítulo III: Marco teórico

3.1. Antecedentes del Problema.

3.1.1. Antecedentes Internacionales.

La investigación sobre la vida útil residual en las estructuras de concreto armado se dio a inicios de los años 70 y su importancia perdura hasta la actualidad por los riesgos de daño y costos de reparación implicados, explicados en el capítulo 2. Sin embargo, su inclusión en normas y códigos de estructuras no se ha efectuado aún, permaneciendo todavía en niveles de investigación. A partir de las investigaciones efectuadas (Tuutti 1982), actualmente se han venido proponiendo varios modelos de predicción por otros investigadores (Andrade, 1989; Maage, 1996; Baroghel-Bouny, 2002; Sagues, 2003; Castro Broges, 2007).

La vida útil residual de un edificio de concreto armado, se estima evaluando las etapas de deterioro por corrosión del concreto reforzado, estas se dividen en cuatro partes: incubación, iniciación, inducción y propagación como se muestra en la Figura 4. La duración del periodo de incubación (t_i) es corta si la estructura presenta grietas; el tiempo de iniciación (t_{ie}) es el tiempo que corresponde a la formación de una capa en las grietas que ralentiza la corrosión, en esta fase se puede considerar que la corrosión es pasiva. El inicio del periodo de propagación t_p se desencadena con la llegada del frente carbonatado del concreto al acero de refuerzo, el inicio de la fase de propagación se puede considerar como el final de vida útil de la estructura. (Francois et al, 2018)

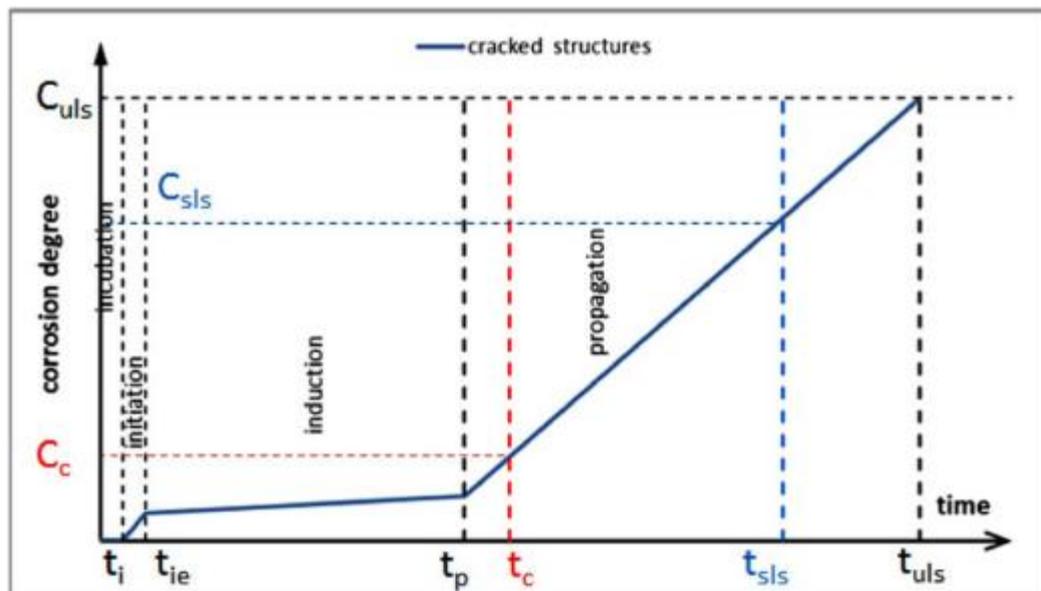


Figura 4: Fases del deterioro de las estructuras de concreto armado por corrosión. Fuente (Francois et al, 2018).

Estudios realizados acerca de la estimación de la vida útil residual de edificios de concreto armado con daños patológicos utilizando el método de predicción semi probabilística, concluyen que para conocer el nivel de daños de una estructura es importante seguir los siguientes pasos (Perez, 2010). Primero, se debe realizar un reconocimiento inicial a la estructura para determinar el nivel de exposición que tiene a la intemperie, como también si tiene indicios de inicio de corrosión en la estructura. Segundo, se debe realizar las regatas,

para determinar el espesor del recubrimiento, nivel de carbonatación y verificar el nivel de deterioro de las barras de acero. También se deben realizar la extracción de muestras de diamantinas para realizar los ensayos de nivel de carbonatación, contenido de cloruros, permeabilidad y porosidad. Tercero, se debe determinar en sitio el frente carbonatado del elemento estructural del edificio concreto armado mediante la aplicación de la solución de fenolftaleína. Cuarto, se debe evaluar el nivel de la penetración del ion cloruro. Finalmente se debe medir la porosidad y permeabilidad del concreto. Siguiendo los pasos mencionados se puede conocer el tiempo de iniciación (t_i) y propagación (t_p) de la corrosión. Con lo cual, se puede determinar la vida útil residual de las estructuras de concreto armado, utilizándose el siguiente modelo matemático:

Ecuación 1: Vida útil residual según el EURO – código. Fuente (Perez, 2010).

$$t_l = t_i + t_n \quad \text{Ecuación 1}$$

La vida útil residual de una estructura de concreto armado, se puede predecir estimando la iniciación y la propagación de la corrosión. Para el caso del diagnóstico de una estructura existente se puede predecir la vida útil residual basándose en el análisis de las aberturas de grietas que se generan por la corrosión y son visibles en la superficie del concreto. La estimación de la aparición de fisuras después del inicio de la corrosión, debe seguir el modelo que se presenta en la ecuación 2. Para estimar el crecimiento de las grietas a causa de la corrosión de la barra acero de refuerzo, se debe tomar como mínimo dos medidas de las grietas expuestas previamente seleccionadas cada una con un año de diferencia con lo cual se debe evaluar la proporcionalidad entre las grietas y el tiempo en que se han originado. (Francois et al, 2018)

Ecuación 2: Perdida de la sección transversal del acero. (Francois et al, 2018)

$$\Delta A_{s0} = A_s \left[1 - \left[1 - \frac{2pfg}{\phi_0} \left(7.53 + 9.32 \frac{c}{\phi_0} \right) 10^{-3} \right]^2 \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Por otro lado, con el objetivo de desarrollar un modelo semi-probabilístico para la estimación de la vida útil residual de estructuras de concreto armado con daños generados a causa de la carbonatación en el concreto, se utilizó el programa MATLAB (Zina & Ebrahim, 2020). Esta investigación toma como referencia la aplicación de la primera ley de difusión de Fick, que se muestra en la Ecuación 3, donde t es el tiempo en años y X_c es la profundidad de carbonatación en función del tiempo y K es el coeficiente de carbonatación. Sin embargo, la carbonatación está influenciada por otros factores adicionales como la calidad del concreto, la relación a/c , la resistencia del concreto, el espesor de recubrimiento. Todos estos factores están relacionados y dependen del tiempo, por lo tanto, la Ecuación 3 se puede reescribir como la Ecuación 4. Por ello, en el estudio para el análisis de la confiabilidad en el modelo computacional se utiliza los siguientes métodos: Hafoser_Lind para el caso de distribución normal y Rackwitz-Fiessler para variables no distribuidas.

Ecuación 3: Primera ley de Fick. Fuente (Zina & Ebrahim, 2020)

$$X_c(t) = K\sqrt{t} \quad \text{Ecuación 3}$$

Ecuación 4: Variación de la primera Ley de Fick para estimar la vida útil residual. Fuente (Zina & Ebrahim, 2020)

$$Z(t) = C_c(t) - X_c(t) \quad \text{Ecuación 4}$$

La estimación de la vida útil tiene como objetivo mitigar el alto costo económico en reparaciones de estructuras con problemas patológicos, además de la seguridad estructural, cumpliendo con sus funciones para el periodo propuesto en el diseño. Es por esto que, la

predictibilidad de la vida útil residual de estructuras de concreto armado con daños de corrosión es un tema de interés para muchos investigadores, por lo que hasta la actualidad han desarrollado diferentes modelos los cuales se muestra en la tabla 1. (Mark & Hans, 2019)

Tabla 1: Modelos para la predicción de la vida útil residual. Fuente (Mark & Hans, 2019)

Modelo	Característica	Referencia
DuraCrete	Modelo probabilístico de carbonatación e ingreso de cloruros. Se basa en el desempeño para caracterización del material.	DuraCreate
Life-365	Modelo basado en la difusión de cloruros, siguiendo la ley de Fick – Semi probabilístico. Proporciona el costo del ciclo de vida en análisis.	Software gratuito – Life 365.
Stadium	Modelo completamente probabilística basado en la ecuación de Nerst-Planck.	Software
Fib Bulletin 34	Es una variación del Life-365, el modelo se basa en la segunda ley de Fick, evaluando la penetración de cloruros y la carbonatación. Modelo Probabilística.	K.J Folliard
LIFEPRED	Modelo basada en las leyes de Fick	Andrade and traverses
ClinConc	Modelo de difusión del cloruro	Tang
DuraCon	Basado en la ley de Fick y el RCMT.	Gjorv
Enfoque en el índice de Durabilidad	Basado en el diseño y control de calidad con indicadores para carbonatación y difusión de cloruros.	Mackechnie Alexander

3.1.2. Antecedentes Nacionales.

La corrosión de edificios de concreto armado generan que la aparición de fisuras y corrosión disminuyan la durabilidad de la estructura y por lo tanto la vida útil de servicio esperada, además, esto ocasiona un gran costo de reparación para mantener la edificación en servicio (Pacora Herrera, 2017). Por otro lado, la investigación del CC Mall Plaza Bellavista-Lima-Callao acerca de la estimación de la vida útil, hace uso del EURO Código siguiendo la Ecuación 1. En su investigación recomienda hacer un seguimiento periódico anual de la estructura, para verificar el avance de la corrosión, las posibles presencias de fisuras o la aparición de agrietamientos que pueden generar un desprendimiento del concreto en las vigas y losas, lo cual genera un alto riesgo a la seguridad de las personas que están en los edificios en análisis, que se presenta en la Figura 5. (Mucching, 2018)



Figura 5. Vista principal de los edificios (a) Casa Matriz, (b)Gimnasio, (c)Euroidiomas y (d)Torre Medica del Mall bellavista. Fuente (Mucching, 2018).

De acuerdo a los modelos de predicción de vida útil residual revisados, podemos concluir que el modelo semiprobabilístico es de suma utilidad, por que permite emplear los ensayos y data real obtenido en campo como la resistencia del nucleos de diamantina, carbonatación, espesor de recubrimiento, y espesor del acero, con los cuales se puede determinar el tiempo en que se inicia la corrosion y el tiempo en el que se propaga la corrosion con mayor confiabilidad, por lo que esta predicción de la vida util residual es más cercana a las condiciones reales de la estructura.

3.2.Bases Teóricas.

3.2.1. *Planta industrial de fabricación de soda caustica y cloruros.*

Las plantas industriales son establecimientos donde se trasforman productos para el uso doméstico e industrial. Para el caso de la Planta Oquendo de la división Químicos QUIMPAC en estudio, se produce soda cáustica, cloro y sus derivados, que tienen múltiples aplicaciones en las principales industriales nacionales. Asimismo, opera la planta de fosfato bicálcico, compuesto que se utiliza para complementos alimenticios en dietas de aves, porcinos y bovinos, en su fabricación se hace uso de la roca fosfórica y el ácido clorhídrico de alta pureza. (quimpac, 2020)

La producción del cloro en la industria se realiza mediante la electrólisis de una solución salina, y comúnmente se utiliza la salmuera, cloruro de potasio y cloruro de sodio. El hidróxido de sodio se puede vender en forma sólida o como lejía de sosa. Se utiliza principalmente para la neutralización de ácidos fuertes, solubilización de químicos insolubles en el agua, descomposición de metales a forma de hidróxidos. Compuesto principal para la producción del hipoclorito de sodio, detergentes, gas de petróleo, aluminio. Elemento químico principal para la industria del palen, textil alimentario, agrícola y tratamiento de agua. (Noval, 2017)

Las plantas industriales están conformadas por edificios en concreto armado donde se ubican las máquinas dependiendo del proceso para el cual va ser utilizado. Se realizan almacenamiento de materiales en proceso y/o residuos que se procesaran para su eliminación como se muestra en la Figura 7. Además, para soportar la carga de equipos y/o maquinarias para el transporte de diferentes materiales en estado sólido o líquido como se observa en la Figura 6. Estos elementos estructurales de concreto armado generalmente están compuestas por zapatas, columnas, muros de corte (placas), vigas, losas y escaleras.



Figura 7. Almacenamiento de residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Fuente propia



Figura 6. Pasarela de Roca fosfórica. Fuente propia

Dentro de las instalaciones de edificios de concreto armado en plantas industriales se procesa el hidróxido de sodio también conocido como la soda cáustica es el principal insumo para la industria en general, es comercializable como una solución al 50%. Se producen principalmente de las siguientes formas: Las Celdas Amalgama, Celdas de Diafragma y las de Membrana (Apaza, 2016) estos elementos son altamente dañinos para los elementos estructurales comunes como el concreto reforzado o el acero estructural.

3.2.2. *Inspección de elementos estructurales en planta industrial.*

De acuerdo a (Perez, 2010) la inspección preliminar (visual) tiene como objetivo identificar las diferentes patologías presentes en el concreto armado como manchas, fisuras, acero con indicios y grado de corrosión que conforma la estructura. La precisión de esto depende en gran parte del conocimiento, interpretación y la experiencia acumulada del inspector en campo.

Se elabora un mapa de los grados de oxidación en los diferentes ambientes y elementos con el fin de realizar una ponderación de lo evaluado y brindar al usuario final una información concreta sobre el estado real de las estructuras evaluadas y el tipo de mantenimiento a realizar. (Moreno P., 2018)

Por otro lado, para precisar el nivel de daño de los edificios de concreto armado con problemas de corrosión en el acero y determinar la velocidad de deterioro por las patologías del concreto, es importante establecer los problemas que se puede generar en las etapas de construcción y/u operación de una planta. (Gerrero, Montoya, & De la Cruz, 2016)

En la inspección de los elementos estructurales en las plantas industriales, se debe identificar la ubicación del edificio en estudio dentro de las instalaciones. Se debe revisar a que elementos químicos se encuentra expuesto, cuál es su distancia respecto a los elementos estructurales. Asimismo, identificar los deterioros visuales que se encuentran en los elementos estructurales del concreto armado. Es importante establecer criterios de inspección e implementar procedimientos y protocolos sistemáticos para todas las edificaciones que se van a evaluar. Se debe asignar el código para cada edificación, determinar los ensayos NDT y DT que se van a realizar.

3.2.3. Corrosión del acero en el concreto

Es uno de los daños más comunes en las ECA, los indicios principales son la aparición de fisuras en las superficies de las barras de acero debido a que el acero incrementa su volumen al perder electrolitos. Cuanto más aumente el nivel de corrosión se puede observar mayor incremento en el volumen de las barras lo cual se traduce en mayor deterioro del concreto. (Emmons P, 2005)

La corrosión se genera por la aparición de celdas electroquímicas, que consiste en un ánodo donde se genera la oxidación, un cátodo donde se genere la reducción del acero, por otro lado, un conductor metálico donde se transmite un flujo de electrones por último un electrolito, como se puede observar gráficamente en la Figura 8. (Cerna & Galicia, 2010)

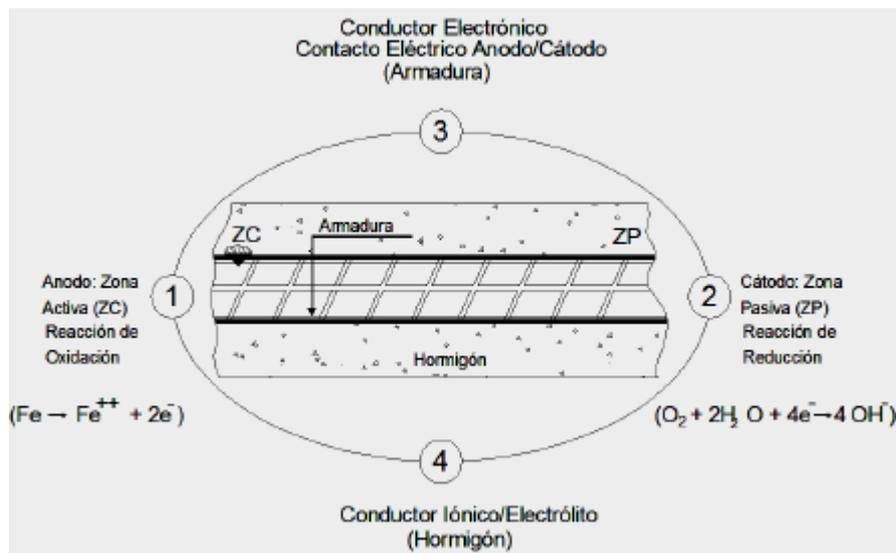


Figura 8. Se presenta la representación gráfica del mecanismo de corrosión que se produce entre el concreto y el acero. Fuente (Cerna & Galicia, 2010)

El principal mecanismo de corrosión aceptada por la mayoría de los expertos es la reducción de la alcalinidad mediante la lixiviación de los álcalis con agua. Asimismo, por la interferencia electroquímica que se genera con un ion cloruro con presencia de oxígeno.

3.2.3.1. Tipos de corrosión del acero en el concreto

Los principales tipos de corrosión que se presenta en las estructuras de concreto armado y sus posibles factores que influyen en el inicio y propagación de la corrosión se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Tipos de corrosión en el acero y sus posibles causas. Elaboración propia

TIPO	DEFINICION	POSIBLES CAUSAS
Corrosión por picaduras	La picadura se genera por la separación localizada de la capa pasiva, generalmente se debe a la penetración de iones de cloruro dentro de la barra de acero, ya sea desde el entorno externo o por incrustaciones en la masa del concreto. (Cerna & Galicia, 2010)	Compacidad y homogeneidad Espesor de recubrimiento del concreto Grietas Deterioro superficial
Corrosión en espacios confinados	Se genera cuando hay un espacio en la capa superior del metal que interfiere la circulación del oxígeno y en esa zona se genera diferenciales de oxígeno lo cual produce la corrosión del acero. (Cerna & Galicia, 2010)	Dosificación del concreto Compacidad y homogeneidad
Corrosión bajo tensión	Se produce cuando ocurren dos situaciones simultáneamente: esfuerzos de tracción y un medio agresivo. Generalmente esto se da en elementos de concreto pre o postensado, donde se hace uso aceros de alta resistencia. (Cerna & Galicia, 2010)	Deterioro superficial Grietas

3.2.4. Vida útil de una estructura de concreto armado

La norma ISO 15686-1 la define como el período posterior a la instalación o construcción durante el cual el edificio o parte del mismo cumple o excede los requisitos mínimos de desempeño diseñados y construidos. Por otro lado, en línea a las investigaciones realizadas por Tuutti en 1982 se define los siguientes conceptos acerca de la vida útil de una estructura de concreto armado:

Vida útil de proyecto: Es el periodo o también considerada como el periodo de iniciación es el tiempo en el que la barrera de protección (recubrimiento) de la estructura de concreto armado resiste a los diferentes mecanismos de daño (carbonatación, penetración de cloruros, penetración de sulfatos, entre otros) hasta dar inicio al deterioro de acero de refuerzo.

Vida útil de servicio: Se considera como el tiempo que transcurre desde la puesta en servicio hasta que el refuerzo de la estructura de concreto armado muestra graves daños. Es decir que se puede considerar como el total del periodo de iniciación y el periodo de propagación.

Vida útil ultima: También considerada como la vida útil ultima o Limite Ultimo, es el tiempo comprendido entre la puesta de servicio hasta el colapso de la estructura de concreto armado. En otras palabras, es el total entre el periodo de iniciación, el periodo de propagación más el periodo de colapso.

Vida útil residual: Es el periodo que está comprendida entre la intervención de una estructura de concreto armado hasta el colapso. Es decir, si durante la vida útil de servicio de la estructura de concreto armado se realiza una inspección de daños, evaluación y reparación los deterioros, recuperándose la protección de la estructura, es a partir de ahí que se da inicio la vida útil residual.

En la Figura 9 se presenta en una línea de tiempo las diferentes escalas de vida útil descritas en la sección 3.2.4.

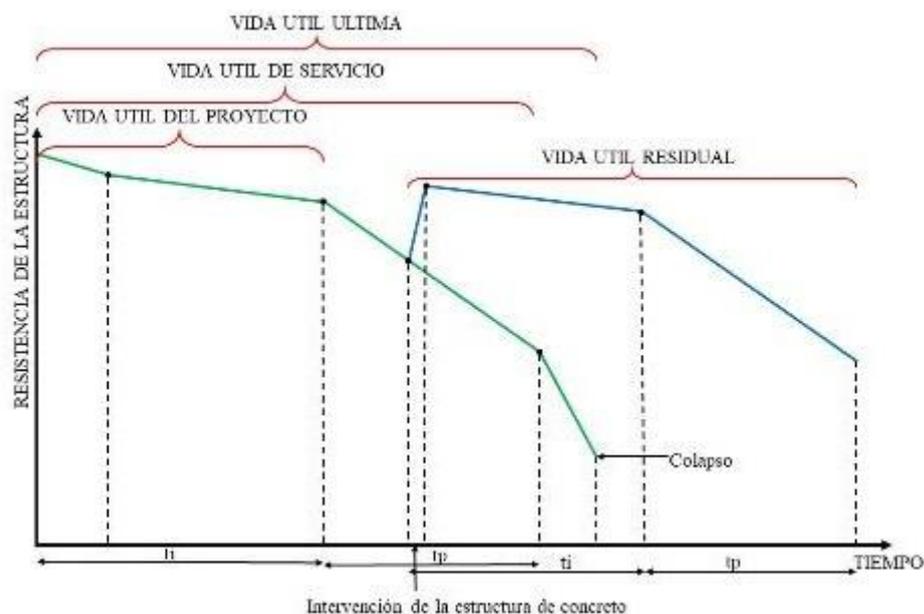


Figura 9: Representación gráfica de la vida útil de una estructura de concreto armado.

Fuente propia.

3.2.5. Métodos de predicción de vida útil.

En el Perú, actualmente no se tiene un modelo de predicción de vida útil residual aprobada o estandarizada para su aplicación, para estructuras de concreto armado en plantas industriales con exposición a un ambiente agresivo de sales y cloruros. Por ello, para la presente investigación se revisará diferentes bibliografías para cumplir con el objetivo del estudio.

En los últimos años se ha propuesto diferentes métodos para estimar la vida de una estructura en concreto armado que presenta problemas de corrosión. Según describe a continuación los principales métodos (Alla, 2016):

- **Método determinista:** Es el método que se enfoca en el análisis de las causas que inician la degradación de los elementos de la estructura.

La metodología más conocida de este tipo es el Método de factores, que también está contemplada en los lineamientos de la ISO 15686.

El método de factores consiste en la evaluación de los factores principales de cada tipo de material que conforma el elemento en estudio. En el proceso el especialista puede definir los factores que impactan la conservación de la edificación, además es el responsable de realizar las calificaciones a cada factor. (Ortega, 2012)

Los lineamientos de la norma ISO 15656 propone establecer los siguientes factores que se pueden considerar:

Factor A: Calidad de los componentes

Factor B: Nivel de diseño

Factor C: Nivel de calidad de ejecución de las obras

Factor D: Condiciones en interiores

Factor E: Condiciones de exposiciones al exterior

Factor F: Condiciones de uso

Factor G: Nivel de mantenimiento

El método de los factores se puede establecer matemáticamente de la siguiente manera:

Ecuación 5: Método de factores. Fuente (Ortega, 2012)

$$V_{UE} = V_{UR} \times \text{FactorA} \times \text{FactorB} \times \text{FactorC} \times \text{FactorD} \times \text{FactorE} \times \text{FactorF} \\ \times \text{FactorG}$$

V_{UE} : Vida útil estimada

V_{UR} : Vida útil de referencia o de diseño

- **Método probabilístico:** Es el método que evalúa la probabilidad de deterioro en los elementos estructurales para cada mecanismo de daño en un determinado periodo.

El método con mayor aceptación sigue el modelo de Markov, para su aplicación de este modelo se deben recolectar datos reales en campo durante largos periodos de tiempo. Lo cual es una de las grandes desventajas para una aplicación como en las plantas industriales donde se requieren resultados más versátiles.

Para temas de investigación se han realizado mediciones para propuesta de toma de decisiones en sistemas de mantenimiento de estructuras en las costas. Asimismo, se han desarrollaron diferentes simulaciones del proceso de degradación del acero y recubrimientos del concreto.

Asimismo, el método que evalúa la pérdida de la sección transversal explicada por (Francois et al, 2018) sigue un método probabilístico por que evalúa la proporcionalidad entre las grietas medidas para tiempos diferentes lo cual se puede estimar hacienda uso de la Ecuación 2

- **Método semi - probabilístico:** Es la combinación del método determinista y probabilista, por lo tanto, se considera como un método de ingeniería.

Este método contempla la evaluación de los factores que afectan directamente a los elementos en estudio y evalúa probabilísticamente el límite del servicio de la vida útil del elemento en estudio.

Este método es el más estudiado por la comunidad científica en la estimación de la vida útil residual de estructuras de concreto armado, se basa en la ley de difusión de Fick. por lo que se tienen diferentes modelos o métodos que siguen similares lineamientos como son: Life-365, Fib Bulletin 34, LifePred, ClinConc, DuraCon y el modelo de durabilidad propuesta por el EHE-08 lo cual se explica en el apartado 3.2.6.1.

Comparación de métodos para la estimación de la vida útil residual

En la Tabla 3 se presenta los tres modelos principales para la estimación de la vida útil residual para estructuras de concreto armado, para cada modelo se ha considerado el método más utilizado para el desarrollo de este campo de investigación. En el caso del método determinístico se considera el Método de factores por la ISO 15686, para el método probabilístico se considera el modelo de Markoy y para el método Semi – Probabilístico se considera el método por durabilidad propuesta por la EHE-08.

Asimismo, en la tabla se muestra que, para la obtención de datos en campo, los métodos más confiables son el Probabilístico y el Semi-Probabilístico debido a que contemplan la toma de muestra y la realización de ensayos estandarizados. En el procesamiento de datos se observa que el método determinístico evalúa mediante factores los daños que se puedan observar en una estructura, por el contrario, el método probabilístico y semi-probabilístico toman como base el resultado de los ensayos realizados en campo para obtener el resultado final mediante modelos computacionales y matemáticos. Por otro lado, se puede observar en el criterio del proceso de evaluación que el modelo determinístico está influenciado por el criterio del especialista.

La duración del ensayo en campo es de mucha importancia en plantas industriales, debido a que el funcionamiento de estas son las 24 horas sin interrupciones, dicho esto se observa que el método probabilístico es de larga duración siendo ensayos continuos que se tienen que realizar por un año como tiempo mínimo a comparación de los otros modelos que son menores a los 90 días. Por ello, teniendo en cuenta esto se puede inferir que el periodo total de la investigación es mucho mayor del método probabilístico en comparación al método semi-probabilístico.

Por lo tanto, en el caso de la investigación para la estimación de la vida útil residual en plantas industriales, es importante obtener resultados que no sean influenciados directamente por el criterio del especialista y que se puedan corroborar mediante ensayos estandarizados o de uso mayoritario en el Perú. Asimismo, debido a que el tiempo de intervención en estas instalaciones es muy controlada se necesita realizar ensayos versátiles que entreguen resultados confiables. Es por ello que en la presente investigación se aplica el método semi-Probabilístico de acuerdo a los lineamientos establecidos por la EHE-08.

Tabla 3: Comparación de modelos para la estimación de la vida útil residual.

MODELOS	OBTENCION DE DATOS EN SITIO	PROCESAMIENTO DE DATOS	CRITERIO EN PROCESO DE EVALUACION	DURACION DE ENSAYOS EN SITIO	PERIODO DE INVESTIGACION
DETERMINISTICO: Método De Factores	Inspección Por Especialista	Cuantificación Por Factores	Por Especialistas	15 días a 30 Días	30 días a 60 Días
PROBABILISTICO: Markov	Ensayos Continuos	Modelos Computacionales Y Matemáticos	Mediante Ensayos	Mayor a 365 Días	Mayor A 365 Días
SEMI-PROBABILISTICO: EHE-08 Anexo 09	Ensayos	Modelos computacionales y Modelos Matemáticos	Por Especialistas Y Mediante Ensayos	De 30 a 90 Días	De 45 a 120 Días

3.2.6. Aplicación del método semi – probabilístico

Según las consideraciones descritas en anexo 9 del EHE-08, del Euro Código se explica a continuación los pasos para el cálculo relativo del estado límite de durabilidad.

3.2.6.1. Estimación del periodo de iniciación de la corrosión

Según el anexo 9 del EURO Código es el tiempo en que se produce la carbonatación a una penetración d respecto a la capa superior del concreto, se puede determinar de acuerdo a la Ecuación 6

Ecuación 6: Tiempo del periodo de iniciación. Fuente (EHE-08, 2010)

$$t_i = \left(\frac{d}{K_c}\right)^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

t_i : Tiempo en años hasta llegar al acero de refuerzo

d : Profundidad de carbonatación, en mm

K_c : Coeficiente de carbonatación

Para el cálculo del coeficiente de carbonatación se debe tener en cuenta la Ecuación 7.

Ecuación 7: Coeficiente de carbonatación. Fuente (EHE-08, 2010)

$$K_c = C_{env} \times C_{air} \times a \times f_{cm}^b \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

C_{env} : Coeficiente de ambiente, según Tabla 4.

C_{air} : Coeficiente de aire ocluido, según Tabla 5.

a, b : Parámetros en función del tipo de cemento Portland, según Tabla 6

f_{cm} : Es la resistencia promedio del concreto, en N/mm^2 a partir de la resistencia característica especificada (f_{ck}).

La resistencia promedio del concreto ensayado se debe calcular en línea a la ecuación Ecuación 8.

Ecuación 8: Resistencia a compresión promedio del concreto. Fuente (EHE-08, 2010)

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad \text{Ecuación 8}$$

Para determinar los coeficientes del ambiente que mide la exposición del elemento estructural frente al ambiente se tiene la Tabla 4. De igual manera, para definir el coeficiente según el contenido del aire del elemento estructural en estudio se debe considerar la Tabla 5. Finalmente, para establecer los parámetros del tipo de conglomerado del elemento, tomar en cuenta la Tabla 6.

Tabla 4: Coeficiente de ambiente. Fuente (EHE-08, 2010)

Ambiente	C_{env}
Protegido de la lluvia	1
Expuesto a la lluvia	0.5

Tabla 5: Coeficiente de aire ocluido. Fuente (EHE-08, 2010)

Aire ocluido (%)	C_{air}
<4.5%	1
\geq 4.5%	0.7

Tabla 6: Parámetros en función del tipo de conglomerante. Fuente (EHE-08, 2010)

Conglomerante	Cemento de la Instrucción RC 03	a	b
Cemento Portland	CEM I	1800	-1.7
	CEM II/A		
	CEM II/B-S		
	CEM II/B-L		
	CEM II/B-LL		
	CEM II/B-M		
	CEM/V		
Cemento Portland +28% de cenizas volantes	CEM II/B-P	360	-1.2
	CEM II/B-V		
	CEM IV/A		
	CEM IV/B		
Cemento Portland + 9% humo de sílice	CEM II/A-D	400	-1.2
Cemento Portland + 65% escorias	CEM III/A	360	-1.2
	CEM III/B		

3.2.6.2. Cálculo del periodo de propagación de la corrosión

La fase de propagación se considera completa si hay una pérdida inaceptable de la sección del acero de refuerzo o si el revestimiento del elemento estructural se agrieta. Entonces, para calcular el tiempo de propagación en años se debe considerar la Ecuación 9.

Ecuación 9: Periodo de propagación. Fuente (EHE-08, 2010)

$$t_p = \frac{80 \times e}{\emptyset \times V_{corr}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

t_p : Tiempo de propagación, en años

e : Espesor de recubrimiento, en mm

\emptyset : Diámetro de la armadura, en mm

V_{corr} : Velocidad de corrosión, en $\mu\text{m}/\text{año}$

En caso no se obtenga datos experimentales específicos para el concreto armado en estudio, el Anexo 9 del Euro Código recomienda usar la Tabla 7 para el cálculo de la velocidad de corrosión.

Tabla 7: Velocidad de corrosión de acuerdo a la exposición. Fuente (EHE-08, 2010)

Clase general de exposición			V_{corr} ($\mu\text{m}/\text{año}$)
Normal	Humedad alta	IIa	3
	Humedad media	IIb	2
Marina	Aérea	IIIa	20
	Sumergida	IIIb	4
	En zona de mareas	IIIc	50
Con cloruros de origen diferente al medio marino		IV	20

3.2.6.3. Cálculo de la vida útil residual de la estructura

Cuando las estructuras de concreto armado tienen daños de corrosión, generados por la carbonatación o cloruros, el periodo total de degradación significativo se puede expresar como la Ecuación 10.

Ecuación 10: Estimación de la vida útil residual. Fuente (EHE-08, 2010).

$$t_L = t_i + t_p \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

t_L : Estimación de la vida útil residual o tiempo total

t_i : Periodo de iniciación de la corrosión

t_p : Periodo de propagación de la corrosión

Entonces reemplazando en la Ecuación 10, Ecuación 6 y la Ecuación 9 se obtiene la Ecuación 11 con lo que puede determinar la vida útil residual del edificio de concreto armado en estudio.

Ecuación 11: Calculo para la estimación de la vida útil residual. Fuente (EHE-08, 2010)

$$t_L = \left(\frac{d}{K_c}\right)^2 + \frac{80 \times d}{\phi \times V_{corr}} \quad \text{Ecuación 11}$$

3.2.7. Estimación de la actividad de corrosión en el acero

La actividad de corrosión en el acero se da cuando existe una degradación química, generando un diferencial de potencial entre ánodos y cátodos de semiceldas de acero.

Estos diferenciales de potencial pueden ser detectados mediante el ensayo de potencial de semiceldas del refuerzo. La medición se realiza empleando una semicelda de sulfato de cobre a la parte superior del de concreto y se cuantifica las diferencias de potencial eléctrico entre la barra de acero y la superficie de concreto, mojada con una esponja. Posteriormente el voltímetro indica la diferencia del potencial para el lugar de la prueba. En la Figura 10 se representa gráficamente el ensayo. (ASTM C876, 2009)

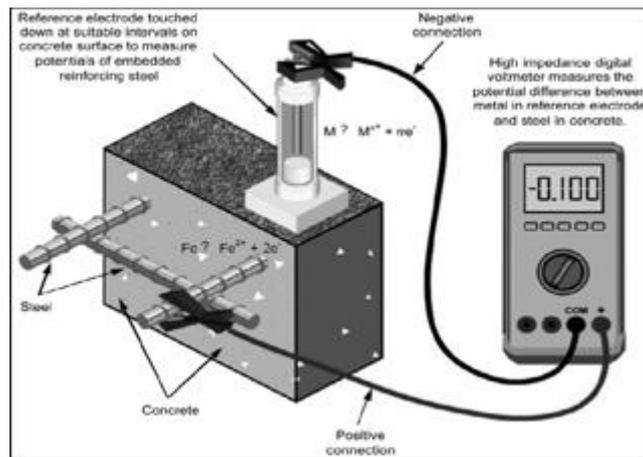


Figura 10. Representación gráfica del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo. Fuente (ASTM C876, 2009)

3.3. Marco Conceptual.

- 3.3.1 **Elemento estructural:** Un elemento estructural está conformado por cada componente de la estructura (viga, columna, placa, losa, etc.) de la edificación en estudio. A su vez, este puede ser plano, lineal y tridimensional y cada uno debe soportar cargas y esfuerzos. (Perez, 2010)
- 3.3.2 **Acero de refuerzo:** Son barras de acero al carbono con resaltes corrugadas que cumplan con las especificaciones en la norma técnica peruana NTP 341.031, o también si son barras con resaltes y lisas de acero de baja aleación deben estar en línea a los estándares de la NTP 339.186. (NTE E.060, 2009)

- 3.3.3 **Concreto armado:** También conocido como concreto reforzado, según la norma técnica peruana E.060 es el concreto reforzado con al menos con una mínima cantidad de acero. (NTE E.060, 2009)
- 3.3.4 **Daño en la estructura:** Los daños son los diferentes detrimentos o afecciones que se pueden encontrar de diferentes aspectos, que son causados en los materiales de los elementos estructurales. Generalmente los daños se originan por la exposición del material a la intemperie por un periodo largo de tiempo, por sobrecargas que exceden las cargas de diseño, por el flujo plástico del concreto o del acero, etc. (Cerna & Galicia, 2010)
- 3.3.5 **Carbonatación del concreto:** Es el proceso que se desarrolla en el concreto producto de la reacción química del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera con los hidróxidos de calcio presentes en la pasta hidratada del concreto, lo cual genera una reducción de PH del concreto por debajo de niveles críticos, que según algunos autores es de 9.5. La reducción del PH del concreto genera la disminución de la capa pasivante del acero, dando inicio a la corrosión en el concreto armado. (Moreno E. , 2008)
- 3.3.6 **Periodo de iniciación:** es cuando el metal embebido en el concreto se encuentra en estado pasivo y dentro de los componentes del concreto se están generando cambios físicos y químicos generadas por el ambiente externo. (San Juan, 2002)
- 3.3.7 **Periodo de propagación:** Se da inicio cuando los agentes químicos y físicos agresivos penetran hasta llegar a la barra acero de refuerzo, propiciando la despasivación del acero y la propagación de la corrosión en la barra del de acero hasta el límite, donde la estructura deja de ser aceptable para su función. (San Juan, 2002)
- 3.3.8 **Durabilidad:** Es la capacidad de las estructuras de mantener sin alteraciones sus propiedades físicas y químicas durante su vida útil de servicio. (San Juan, 2002)
- 3.3.9 **Vida útil de una estructura:** Es el tiempo en que la estructura mantiene sus condiciones mínimas en seguridad, funcionalidad y estética. (Tuutti, 1982)

Capítulo IV: Hipótesis y Variables

4.1 Hipótesis General.

- El empleo de la metodología semi probabilística estima la vida útil residual en estructuras de concreto armado en plantas industriales con riesgo de corrosión en Callao – Callao – Callao.

4.2 Hipótesis Específicas.

- La inspección preliminar en estructuras de concreto armado mediante la identificación y el mapeo diagnostica la vida útil residual de las estructuras de concreto armado en plantas industriales en Callao – Callao - Callao.
- La calidad del concreto es relevante en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.
- La evaluación de la calidad del acero mediante la confección de regatas y ensayo potencial de semiceldas determina la probabilidad de corrosión en las barras de acero de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.
- Es viable comparar la relación existente entre la vida útil residual estimada mediante el modelo semi-probabilístico y el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao.

4.3 Identificación de Variable.

Se ha identificado tres variables relacionadas a la estimación de la vida útil residual de las edificaciones de concreto armado en plantas industriales: Estado de la ECA, actividad de corrosión, y vida útil residual. En la Tabla 8 se presenta la definición conceptual de estas variables para un mejor entendimiento sobre su intervención en la estimación de la vida útil residual.

Tabla 8: Variables relacionadas con la vida útil residual. Fuente propia

1. Estado de la ECA.	Es la situación en la que se encuentran los elementos estructurales de los edificios en las plantas industriales. Se estudia las caracterizas, el proceso de deterioro y posibles consecuencias que experimentan las estructuras con síntomas patológicos.
2.Actividad de corrosión	Es la probabilidad que tiene que un refuerzo de la ECA dañe considerablemente el elemento estructural del edificio en la planta industrial.
3.Vida útil residual	Según (Tuutti, 1982) es el periodo de tiempo de la estructura en la que mantiene sus condiciones mínimas en seguridad, funcionalidad y estética.

4.4 Operacionalización de Variables.

En cuanto a los indicadores de las variables identificadas en el estudio, se presenta la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11 junto a las dimensiones asociadas y los indicadores definidos para cada variable.

Para estimar el estado de la estructura de concreto armado se define en tres dimensiones principales que son: inspección en sitio, periodo de iniciación y periodo de propagación, para cada dimensión se presenta sus indicadores como se visualiza en la Tabla 9.

Tabla 9: Indicar de Variable 1. Estado de la estructura de concreto armado. Fuente propia

Variable 1: Estado de la estructura de concreto armado.	
Dimensión	Indicador
Inspección en sitio	Identificación de elementos estructurales afectados
Periodo de iniciación	Frente carbonatado Resistencia a la compresión
Periodo de propagación	Espesor de recubrimiento Diámetro del acero de refuerzo Velocidad de corrosión

La operación que se desarrollará para medir la actividad de corrosión será definiendo la probabilidad de corrosión de la armadura del concreto armado mediante el ensayo del potencial de semiceldas de refuerzo, lo cual se representa en la Tabla 10.

Tabla 10: Operacionalización de la variable 2. Actividad de corrosión. Fuente propia

Variable 2: Actividad de corrosión	
Dimensiones	Indicadores
Probabilidad de corrosión de la ECA	Ensayo potencial de semiceldas de refuerzo

La vida útil residual es la variable dependiente de la variable 1, su dimensión se define como Vida útil residual de ECA en planta industrial y para determinar se estimará el tiempo de iniciación y propagación de la corrosión en la ECA, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Operacionalización de la variable "Vida útil". Fuente propia

Variable 3: Vida útil	
Dimensiones	Indicadores
Vida útil residual de ECA en plantas industriales.	Periodo de iniciación Periodo de propagación

4.5 Matriz de Consistencia.

Tabla 12: Matriz de consistencia. Fuente propia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS
<p>Problema General:</p> <p>¿Cómo estimar la vida útil residual de estructuras de concreto armado en plantas industriales con riesgo de corrosión cuando los modelos existentes no son tan confiables?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Estimar la vida útil residual de estructuras de concreto armado con riesgos de corrosión mediante el modelo semi-probabilístico en plantas industriales en Callao – Callao - Callao.</p>	<p>Hipótesis Principal:</p> <p>El empleo de la metodología semi probabilística estima la vida útil residual en estructuras de concreto armado en plantas industriales con riesgo de corrosión en Callao – Callao – Callao</p>	<p>Variable 1: Estado de la estructura de concreto armado</p> <hr/> <p>Dimensiones:</p> <p>-Inspección en Sitio de iniciación</p> <p>-Tiempo de propagación</p>	<p>V 01:</p> <p>Revisión de especificaciones técnicas de las estructuras por planta industrial.</p> <p>Levantamiento de patologías en campo</p> <p>Ensayos NDT, DT en elementos estructurales</p> <p>Técnica de procesamiento de datos</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>a) ¿De qué manera la identificación y mapeo influye en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao</p> <p>b) ¿De qué manera la calidad del concreto influye en el diagnóstico de la vida útil residual de las</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>a) Realizar la inspección preliminar en estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión mediante la identificación y mapeo para diagnosticar la vida útil residual de estas estructuras en plantas industriales en Callao – Callao - Callao.</p> <p>b) Evaluar la calidad del concreto para el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>H1: La inspección preliminar en estructuras de concreto armado mediante la identificación y el mapeo diagnostica la vida útil residual de las estructuras de concreto armado en plantas industriales en Callao – Callao - Callao</p> <p>H2: La calidad del concreto es relevante en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de</p>	<p>Variable 2: Actividad de corrosión</p> <hr/> <p>Dimensiones</p> <p>-Probabilidad de corrosión de la ECA.</p> <hr/> <p>Variable 3: Vida útil residual.</p>	<p>V 02:</p> <p>Ensayo potencial de semiceldas de refuerzo</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos</p> <hr/> <p>V 03:</p> <p>Técnicas de análisis de datos</p>

<p>estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?</p> <p>c) ¿De qué manera la calidad de acero de refuerzo influye en el diagnóstico de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?</p> <p>d) ¿Cuál es la relación que existe entre la vida útil residual estimada mediante el modelo semi-probabilístico y el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao?</p>	<p>con riesgo de corrosión a través de ensayos NDT y DT en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.</p> <p>c) Evaluar la calidad del acero de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión para determinar la probabilidad de corrosión en las barras de acero mediante la confección de regatas y el ensayo potencial de semiceldas en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.</p> <p>d) Establecer la correlación existente entre la vida útil residual estimada y el potencial de corrosión en elementos estructurales mediante el modelo semi-probabilístico y el ensayo de potencial de semiceldas refuerzo para confeccionar una tabla simplificada de estimación de vida útil residual de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.</p>	<p>concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao – Callao – Callao.</p> <p>H3: La evaluación de la calidad del acero mediante la confección de regatas y ensayo potencial de semiceldas determina la probabilidad de corrosión en las barras de acero de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao – Callao – Callao</p> <p>H4. Es viable comparar la relación existente entre la vida útil residual estimada mediante el modelo semi-probabilístico y el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo de las estructuras de concreto armado con riesgo de corrosión en plantas industriales en Callao- Callao- Callao</p>	<p>Dimensiones:</p> <p>- Vida útil residual de ECA en plantas industriales</p>	<p>Técnica de procesamiento de datos</p>

Capítulo V: Metodología

5.1 Tipo y Diseño de Investigación.

5.1.1 Tipo de Investigación.

La presente investigación sigue un proceso metódico para buscar una solución al problema planteado. Además, en las investigaciones que se realizan existen diversos tipos de clasificación. Por eso, de acuerdo a (Arias, 2012) las investigaciones no son excluyentes por tipos de estudios, cualquier sea su clasificación, por lo que los estudios pueden dividirse en varias clases.

Por otro lado, de acuerdo al tipo de datos analizados es una investigación cuantitativa debido a que se evaluará datos de ensayos realizados, con lo cual se podrá responder las preguntas del problema del estudio, y así comprobar las hipótesis planteadas. Asimismo, este tipo de estudio se basa en la medición y conteo de datos numéricos y para precisar el comportamiento de una población se recurre a la estadística. (Borja, 2012)

Desde otro punto de vista, según el tipo de metodología que se usará para demostrar la hipótesis se considera como un estudio no Experimental - Correlacional porque se analizará la relación existente entre la vida útil residual de las ECA y el ensayo de potencial de corrosión. Asimismo, si dos parámetros son comparados y se encuentra una correlación, se puede obtener un valor aproximado para la variable dependiente Y, conociendo la variable X (Borja, 2012).

5.1.2 Diseño de Investigación.

El estudio realizado sigue un diseño No Experimental de tipo Ex posfacto porque determina la relación existente entre los parámetros tal como se presentan en la realidad sin ninguna alteración (Borja, 2012).

Por otra parte, el diseño que se sigue es de campo porque se basa en la recolección de información desde los datos primarios en su origen natural sin ningún tipo de control de las variables (Arias, 2012).

5.2 Unidad de Análisis.

El estudio contempla analizar una muestra de edificaciones en concreto armado que conforman la planta industrial Oquendo 1 de la empresa QUIMICAS DEL PACIFICO (QUIMPAC) con altas concentraciones de iones cloruro y sales, ubicada en la avenida Néstor Gambeta 8585, en el distrito del Callao, Provincia constitucional del Callao.

5.3 Población de estudio.

La presente investigación es válida para estimar la vida útil residual de ECA en zonas industriales con ambientes altamente agresivos.

5.4 Tamaño de Muestra.

La Planta Oquendo 01 cuenta aproximadamente con 50 edificaciones en concreto armado donde operan los equipos para el procesamiento de los productos ácidos y alcalinos, de las cuales el estudio contempla abordar 10 edificios de concreto armado.

5.5 Selección de Muestra.

La clasificación de la muestra se ha realizado por un proceso probabilístico-estratificado porque la población accesible ha sido dividida en subconjuntos con características similares (Arias, 2012). Las características de estos edificios seleccionados en el estudio se indican a continuación en la Tabla 13.



Figura 11. Vista del edificio Decantador E-01. Fuente propia



Figura 13. Vista del edificio Decantador E-04. Fuente propia



Figura 12. Vista del edificio Decantador E-02. Fuente propia



Figura 14. Vista general del edificio Decantador E-05. Fuente propia

Tabla 13. Descripción de las características de los edificios de concreto armado en estudio. Fuente propia

NOMBRE DE EDIFICACIÓN	CÓDIGO DE EDIFICIO	TIPO DE ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO	AÑO DE CONSTRUCCION	ELEMENTOS ESTRUCTURALES	UBICACIÓN / SECTOR
Decantador E-01	ECA-01	Sistema dual (2 pisos)	1989	Columna, Muro perimetral Viga, Losa	Planta Fosfato
Decantador E-02	ECA-02	Sistema dual (2 pisos)	1989	Columna, Muro perimetral Viga, Losa	Planta Fosfato
Decantador E-04	ECA-03	Sistema dual (3 pisos)	1989	Columna, Muro perimetral Viga, Losa	Planta Fosfato
Decantador E-05	ECA-04	Sistema dual (3 pisos)	1989	Columna, Muro perimetral Viga, Losa	Planta Fosfato
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	Aporticado (4 pisos)	1981	Columna, Viga, Losa.	Planta Cloro
Reactores	ECA-06	Aporticado (2 pisos)	1981	Columna, Viga, Losa.	Planta Salmuera
Cloro Liquido	ECA-07	Aporticado (2 pisos)	1982	Columna, Viga, Losa.	Planta Cloro
Gris DP.03	ECA-08	Aporticado (3pisos+Azotea)	1989	Columnas, Vigas y Losas	Planta Fosfato
Roca Fosfórica	ECA-09	Aporticado (6pisos)	1989	Columnas, Vigas y Losas	Planta Fosfato
Precipitador DP-08-05	ECA-10	Aporticado (2pisos)	1989	Columnas, Vigas y Losas	Planta Fosfato Bicálcico



Figura 15. Vista del edificio Hornos de Ácido Clorhídrico. Fuente propia



Figura 18. Ilustración de edificio Gris DP-03. Fuente propia



Figura 16. Ilustración panorámica del edificio Reactores. Fuente propia



Figura 19. Ilustración de edificio Roca fosfórica. Fuente propia



Figura 17. Ilustración panorámica de edificio Cloro Líquido. Fuente propia



Figura 20. Ilustración de edificio Precipitador DP-08-05. Fuente propia

5.6 Técnicas de Recolección de Datos.

El presente estudio contempla realizar la recolección de datos en la planta Oquendo 1, a los edificios de concreto armado en su forma natural como se encuentran en el momento de la evaluación. Se realizará la inspección visual y mapeo de los daños superficiales de 10 edificaciones industriales implementándose un formato estándar para la recopilación de datos y procesamiento de la información de forma homogénea. Seguidamente se identificarán los daños en los elementos estructurales y no estructurales, con la finalidad de constatar el estado de los componentes y determinar (según Guía para inspección de puentes del MTC 2016) su extensión, gravedad y evolución de cada una de las estructuras. Por otro lado, se realizará la extracción de 60 testigos de diamantina según la NTP.339.034, para realizar el ensayo de compresión de testigos de diamantinas según la NTP. 339.059 con la finalidad de determinar la calidad actual del concreto. De igual modo se efectuará la prueba cualitativa de carbonatación en línea con la ASTM-D1293 (6 ensayos por edificación). Finalmente, se procederá a realizar la prueba de potenciales de semiceldas del refuerzo acorde al estándar ASTM-C876 (Se efectuará 6 ensayos por edificación).

5.7 Análisis e interpretación de la información.

Para la clasificación del registro se implementará una tabla de recolección de datos por cada estudio realizado, inspección en sitio y pruebas de campo.

El procesamiento de la información obtenida se desarrollará de la siguiente manera.:

1. Procesamiento de datos de la inspección visual.
2. Procesamiento de datos de los ensayos de campo.
3. Procesamiento de datos para estimar la vida útil residual mediante el método semi - probabilístico.
4. Efectuar la correlación existente entre la vida útil residual obtenida y los resultados del ensayo de potencial de semiceldas del refuerzo.

Capítulo VI: Procedimiento y Método de Análisis

6.1 Plan de trabajo para la inspección y evaluación de las estructuras de concreto armado en plantas industriales

Los edificios en concreto armado de las plantas industriales en estudio, con posibles presencias de patologías es recomendable iniciar una inspección visual, para tener un diagnóstico de las condiciones actuales de serviciabilidad. Para precisar los problemas generados e identificar el tipo de deterioro en las estructuras, los mecanismos y la naturaleza del daño en la que se encuentran, es recomendable realizar un plan de acción que incluya una inspección visual para identificar y mapear las patologías en el concreto y en el acero, donde se definirá su ubicación, espaciamiento, y recubrimiento; evaluación de la calidad del concreto a través de los ensayos NDT y DT; evaluación del potencial de corrosión a través del ensayo del potencial de semiceldas en el acero. En la Figura 21 se presenta un diagrama de flujo para la inspección de cualquier tipo de estructura en concreto armado, en las plantas industriales.

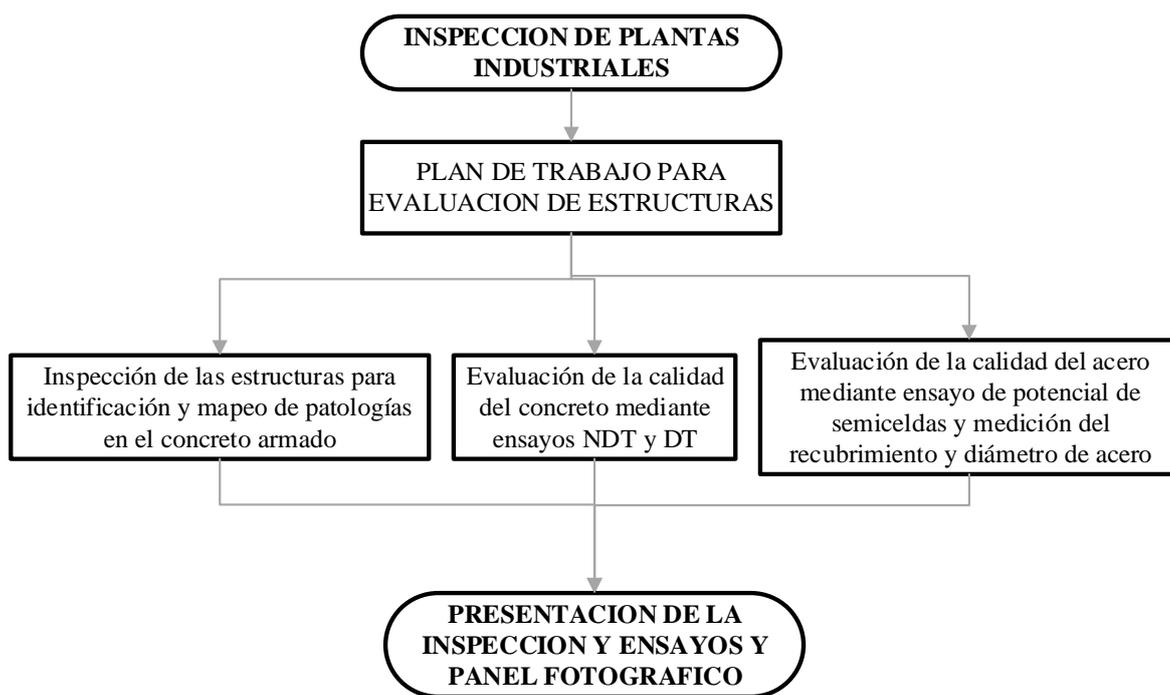


Figura 21: Esquema para la inspección de edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia

6.1.1 Inspección de estructuras que conforman los edificios para identificación y mapeo de patologías.

En la inspección visual, se identifica las diferentes patologías existentes en el concreto como: manchas, grietas, cangrejeras, delaminaciones, y/o reparaciones existentes, para emitir un diagnóstico sobre el estado de los edificios en cuanto a los daños y la cuantificación del impacto que generan los mismos.

Para realizar la calificación se tomará como base los criterios establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en la guía de inspección de puentes de la Directiva N°14-2019-MTC/18. Debido a que actualmente el Perú no cuenta con una guía estandarizada para la inspección visual y calificación de los daños para edificios de concreto armado en Plantas industriales, además presentan las siguientes ventajas:

- a) **Facilidad de adaptación:** La directiva es genérica y fácil de entender se podría aplicar para diferentes tipos de estructuras de concreto armado respetando los criterios y evaluando la funcionalidad, los sistemas de construcción y otras consideraciones estructurales que el responsable pueda considerar.
- b) **Guía para inspección de materiales de concreto armado:** Parte de la guía considera la evaluación del material compuesto (concreto armado) generalmente predominante en los puentes de concreto armado, lo cual se repetirá como material predominante en las plantas industriales.
- c) **Evaluación de elementos estructurales similares:** En la guía de puentes se considera la inspección en elementos de concreto armado como: Losa, vigas, pórtico, arco, otros. Para las plantas industriales también se evaluarán elementos de concreto armado como: vigas, losas, muros, columnas.
- d) **Evaluación de daños similares y exposición a ambientes agresivos:** En el manual de inspección se evalúa los daños patológicos que se generan en el concreto armado: como la alteración del concreto por agentes agresivos como sales y sulfatos, la corrosión de las armaduras en regiones próximas al mar por acciones del entorno que se presenta, defectos en el concreto, lo cual también se evaluará en las ECA de plantas industriales.
- e) **Versatilidad y fácil de calificación de daños:** Los parámetros para la calificación es fácil de adaptar y aplicar a otras estructuras de concreto armado.
- f) **Actualización de la normativa:** Es una directiva que se actualiza constantemente, siendo su última actualización en el 2019.
- g) **Aceptación y difusión:** Por la demanda en la inspección y evaluación de los puentes es la guía más difundida para evaluación de elementos estructurales de concreto armado.

Para la calificación de las ECA en plantas industriales se propondrán tres categorías principales, lo cual será la base para la calificación de los daños encontrados en los edificios. Estas categorías son las siguientes:

Extensión del Daño (ED): Esta categoría calificará la extensión del daño observado en la inspección visual. Así como también se puede interpretar como el porcentaje de afectación superficial que se observa en la edificación. La cuantificación numérica se realizará en la escala del 1 al 4, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Calificación de la extensión del daño de la estructura de concreto armado.
Elaboración Propia.

EXTENSION DEL DAÑO	
CALIFICACION	DESCRIPCION
1	Afección menor del 25%
2	Afección de 25%-50%
3	Afección de 50%-75%
4	Afección mayor de 75%

Gravedad del Daño (GD): Esta categoría calificara la gravedad del daño observado en la inspección visual. También se puede interpretar como el nivel del deterioro en la que se encuentra el acero, concreto, elemento estructural o la edificación. Su valor final depende de las consecuencias que pueda originar en la ECA en plantas industriales como incremento en los daños o fallas de algún elemento estructural. La cuantificación numérica se realizará en la escala del 0 al 2, como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: Calificación de la gravedad del daño observado en estructura de concreto armado. Elaboración propia.

GRAVEDAD DEL DAÑO	
CALIFICACION	DESCRIPCION
0	Daño de intensidad baja
1	Daño de intensidad media
2	Daño de intensidad elevada

Evolución del Daño (EVD): Esta categoría calificara la facilidad de la evolución que puede tener el daño observado en la inspección visual. En este apartado se puede evaluar la exposición del elemento estructural en las plantas industriales como pueden ser; ambientes agresivos externos, la ubicación geográfica, rubro de producción, materiales utilizados en los procesos de manufactura, entre otros que pueden acelerar el avance del deterioro con mayor rapidez. La cuantificación numérica se realizará en la escala del 0 al 2, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Calificación de la evolución del daño de la estructura de concreto armado.
Elaboración propia

EVOLUCION DEL DAÑO	
CALIFICACION	DESCRIPCION
0	Velocidad lenta y ambiente no agresivo
1	Velocidad baja y ambiente agresivo Velocidad alta y ambiente no agresivo

2	Velocidad rápida y ambiente agresivo
---	--------------------------------------

En la Tabla 17 se muestra la codificación de daños según los niveles de deterioro por tipo de daño y/o patología encontrada. Tomando como referencia las calificaciones establecidas en la guía para la inspección de puentes del MTC del año 2019, descritas en la Tabla 18, en esta tabla se describen las condiciones encontradas durante la inspección visual de las estructuras en concreto armado.

Tabla 17: Codificación de daños por niveles de deterioro. Fuente Propia

CODIGO DE DAÑO POR NIVEL	DESCRIPCION DE DAÑO EN CONCRETO ARMADO	CALIFICACION DEL NIVEL DE DETERIORO
RD-B	Reparación deficiente - Bajo	1 - 2
RD-M	Reparación deficiente - Medio	3 - 4
RD-A	Reparación deficiente - Alto	5 - 6
DC-B	Delaminación del concreto - Bajo	1 - 2
DC-M	Delaminación del concreto - Medio	3 - 4
DC-A	Delaminación del concreto - Alto	5 - 6
CE-B	Corrosión expuesta - Bajo	1 - 2
CE-M	Corrosión expuesta - Medio	3 - 4
CE-A	Corrosión expuesta - Alto	5 - 6
F-B	Fisuras menores a $e < 0.4\text{mm}$ - Bajo	1 - 3
F-A	Fisuras mayores a $e \geq 0.4\text{mm}$ - Alto	4 - 6

Tabla 18: Calificación de niveles de deterioro en una estructura de concreto armado. Fuente (DIRECTIVA N°014-2019-MTC/18, 2019)

CALIFICACION DEL NIVEL DE DETERIORO	DESCRIPCION DE LA CONDICION DEL CONCRETO ARMADO SEGÚN EL NIVEL DE DETERIORO
1	Satisfactorio: Estructuras sin ningún daño
2	Adecuada: Se observan problemas no estructurales.

3	Deficiente: Elementos estructurales principales sin deterioro, no obstante, algunos elementos secundarios presentan daños, indicios de reducción de sección, se presentan fisuras y descaramiento.
4	Seria: Se aprecia reducción de sección, deterioro en los elementos estructurales principales
5	Alarmante: Se visualiza nivel deterioro alto en los elementos estructurales principales.
6	Inaceptable: Avanzado deterioro o pérdida irreparable de sección de los elementos estructurales principales.

a) En el Formato 1 se realiza la recolección y procesamiento de datos generales en cada uno de los edificios de las plantas industriales cuyo registro se adjunta en anexo 02. En este formato, se describe los elementos estructurales inspeccionados (columna, muros/placas, vigas, losas macizas, losas aligeradas) los daños encontrados.

En la Tabla 19 se muestra, a modo de ejemplo, el resumen del mapeo detallado realizado en la inspección visual cuantificando las condiciones encontradas para el edificio Decantador E-01, de acuerdo al Formato 2. Asimismo, se detalla la calificación de la condición global en la que se encuentra la estructura de acuerdo a la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16.

Tabla 19: Ejemplo de registro de datos sobre inspección de una estructura – Formato 01.
Fuente propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO DECANTADOR E-01 (ECA 01)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: DECANTADOR E-01	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -01
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: En el edificio decantador E-01 se hacen trabajos para separar los residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL

DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Circular Dimensión: 15.80 diámetro x 6.30 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 2.1m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 8 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 60.48 m ²	RD-M = 11.15 RD-A = 20.70 DC-M = 8.90 DC-A = 13.48 F-B = 0.32 Sub. Total = 54.64	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
MURO Dimensión: 1er nivel: 3.30m x 2 m x 0.4 m; 2do nivel: 2.80m x 0.25m x 11m Cantidad: 6 (Ejes C, G – 1er Piso y Ejes A-C, C-E, E-G, G-A – 2do Piso) Área Superficial: 278.08 m ²	RD-A = 39.06 DC-A = 1.80 Sub. Total = 40.86	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 138.95 m ²	RD-M = 7.97 RD-A = 1.99 DC-M = 8.34 DC-A = 2.78 CE-A = 0.84 F-B = 4.96 Sub. Total = 26.87	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 223.32 m ²	RD-M = 10.32 RD-A = 30.95 DC-M = 1.63 DC-A = 14.63 CE-A = 2.70 F-B = 0.76 Sub. Total = 60.98	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 29.43 RD-A = 92.69 DC-M = 18.86 DC-A = 32.69 CE-A = 3.53 F-B = 6.04 Sub. Total = 183.26	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 74 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 75 Corrosión expuesta (CE) - Figura 76 Fisuras <0.04 mm (F) - Figura 77	

b) Se realiza el mapeo detallado por tipo de daño identificado en la inspección visual, para cuantificar el impacto en cada elemento estructural, en cuanto a su extensión (ml, m²). En el Formato 2 (anexo 01), se cuantifica las zonas afectadas de acuerdo a la Tabla 17 diferenciando el tipo del daño y el nivel de afectación observado en la ECA inspeccionada. Para un mejor entendimiento, en la Tabla 20 se muestra un ejemplo sobre el registro de datos.

Tabla 20: Ejemplo para registro de datos en el formato 02. Fuente propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: DECANTADOR E-01			Código del edificio		ECA-01	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	11.15		7.96	10.32	29.43
RD-A	M2	20.70	39.06	1.98	30.95	92.69

DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	8.90	0.00	8.33	1.63	18.86
DC-A	M2	13.48	1.80	2.78	14.63	32.69
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-A	M2	0.00	0.00	0.83	2.70	3.53
F-B	M2	0.41	0.00	4.96	1.03	6.40
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	54.64	40.86	26.84	61.26	183.60

6.1.2 Evaluación de la calidad del concreto a través de las pruebas NDT y DT.

6.1.2.1 Extracción y ensayo de resistencia f'_c en núcleos de diamantinas.

La extracción de núcleos de diamantina permite hacer la evaluación de la resistencia f'_c del concreto, en conformidad con las normas ASTM C 42/C42M (N.T.P 339.034) para su extracción y ASTM C39/C39M (N.T.P 339.059) para su ensayo a compresión, donde se aplica una carga de compresión axial a los cilíndricos extraídos a una velocidad normalizada. La resistencia a compresión del concreto se determina según la carga máxima del ensayo entre el promedio del área de su sección. Generalmente es expresado en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) o en Mega Pascal (MPa). (Zambrano, 2017)

Las extracciones de los núcleos de diamantina se realizan según la NTP. 339.034. Primeramente, se ubica el punto de extracción en el elemento estructural a evaluar, realizando un escaneado para identificar la ubicación de la barra de acero de refuerzo como se presenta en la Figura 22. Seguidamente se realiza la perforación para la extracción del núcleo de diamantina (Figura 23). A continuación, se identifica el núcleo extraído considerando los siguientes datos básicos: nombre del edificio, nombre del elemento de donde se ha extraído, código de la muestra y la fecha como se ilustra en la Figura 24.



Figura 22: Escaneo del elemento estructural para ubicación de acero de refuerzo. Fuente Propia



Figura 23: Extracción del núcleo de diamantina. Fuente Propia.

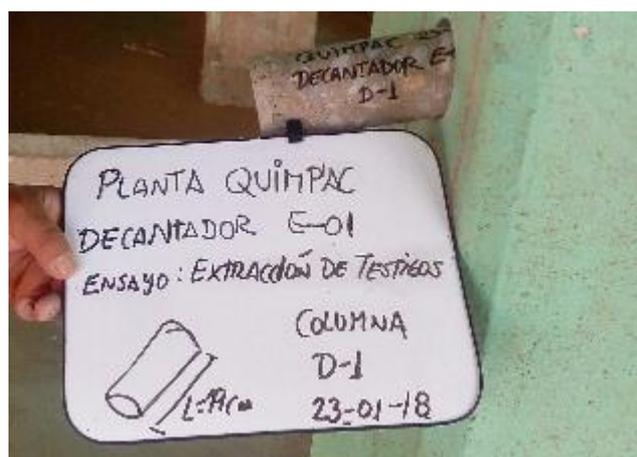


Figura 24: Codificación de diamantina extraída de la estructura Columna. Fuente Propia

Los resultados obtenidos del ensayo de a compresión de los núcleos de diamantina por tipo de estructura y edificio inspeccionado, son registrados en el Formato 3 adjunto en Anexo 01. Para un mejor entendimiento, se presenta un modelo de registro en la Tabla 21.

Tabla 21: Ejemplo del registro en el formato 03 el ensayo de compresión de núcleos de diamantina. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: HORNOS ACIDO CLORHIDRICO				Código del edificio: ECA 5		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	$X_i \geq 85\%f'c$	Min > 75%f'c
ECA 05_C-1	Columna	20.40	17.00	20.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 05_C-2	Columna	17.00				
ECA 05_C-3	Columna	22.70				
ECA 05_V-1	Viga	20.70	20.70	22.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 05_V-2	Viga	23.50				
ECA 05_V-3	Viga	21.90				
Fecha de Extracción: 31/01/2018						
Fecha de Ensayo:04/02/2018						

En la Figura 25 se presenta un diagrama sobre la extracción de núcleos de diamantina en las estructuras y ensayos f'c descritos en la presente sección.

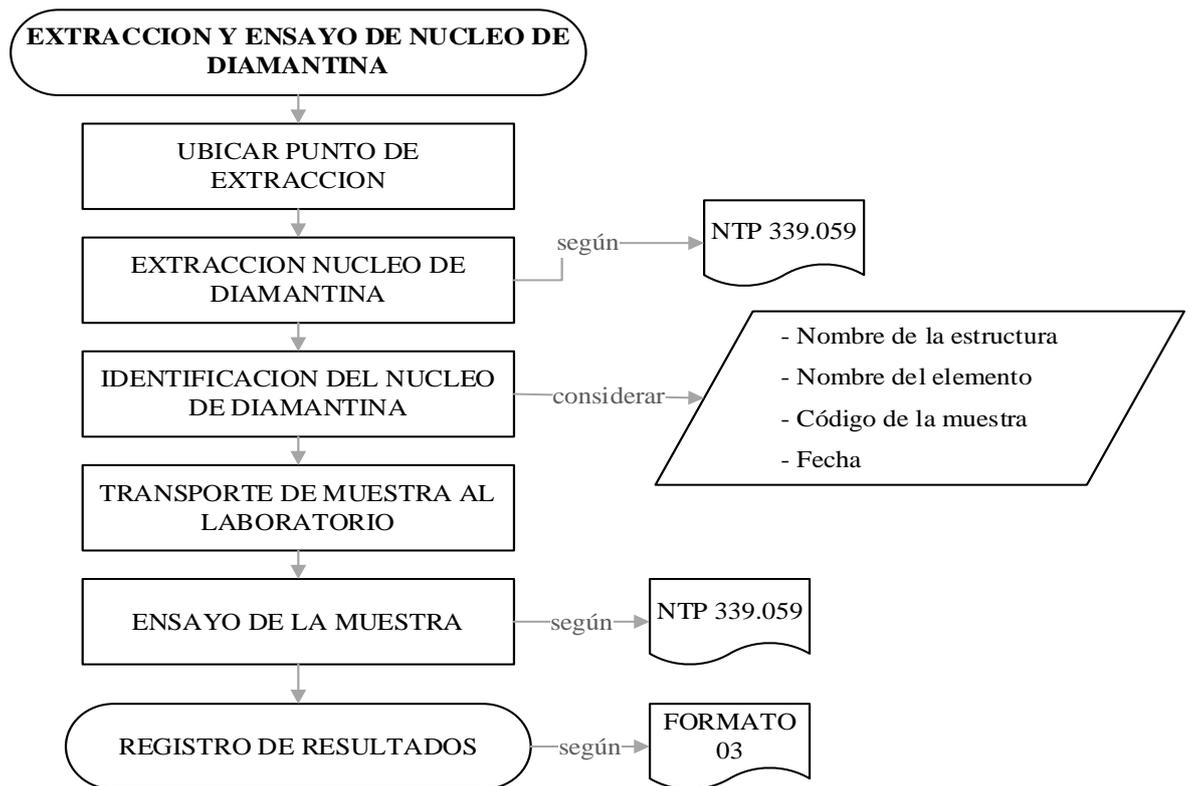


Figura 25: Flujo de trabajo para la extracción y ensayo de resistencia f_c en núcleos de diamantina por tipo de estructura y edificio inspeccionado. Fuente propia

6.1.2.2 Medición de la carbonatación en núcleos de diamantina de concreto

El avance progresivo de la carbonatación se puede medir mediante la prueba cualitativa con el indicador de fenolftaleína, en conformidad con la norma ASTM-D1293. (Perez, 2010).

A partir de una muestra de diamantina extraída según la NTP 339.034 (preferentemente de la parte central de la estructura sin indicios de corrosión), identificando la ubicación del acero (Figura 22), realizando la extracción de la diamantina (Figura 23), se realiza la medición de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína (Figura 26) y se identifica la misma con los siguientes datos básicos: nombre del edificio, nombre del elemento estructural, código de la muestra, y la fecha; tal como se ilustra en la Figura 27



Figura 26: Medición de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína. Fuente propia

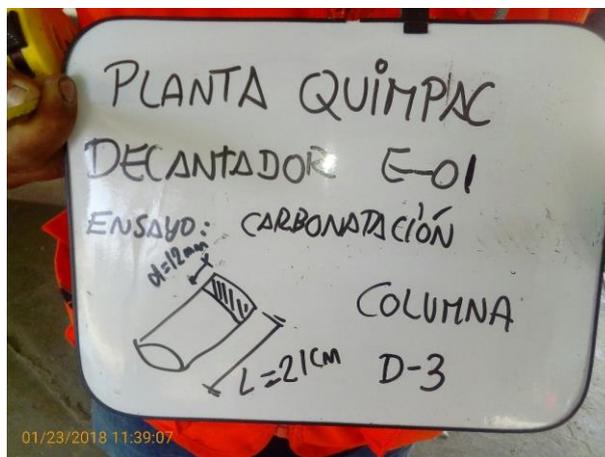


Figura 27: Etiqueta para la extracción de diamantina para el ensayo de carbonatación. Fuente propia

Luego de la extracción de la muestra de concreto, se aplica de manera inmediata el indicador base de fenolftaleína (conformado por la mezcla de fenolftaleína, agua y alcohol etílico) para evitar que se contamine esta muestra con una carbonatación superficial. Seguidamente se observa el cambio de color del concreto de incoloro a rojo púrpura o rosa, el cual debe presentarse en toda la superficie de la muestra para no evidenciar un frente carbonatado Figura 28. Caso contrario, si se evidencia alguna parte de la muestra no coloreada, ello es indicador de la presencia de frente carbonatado Figura 29.



Figura 28: Evidencia de frente no carbonatada, toda la superficie de concreto se tiñe de color rojo purpura o rosa. Fuente propia

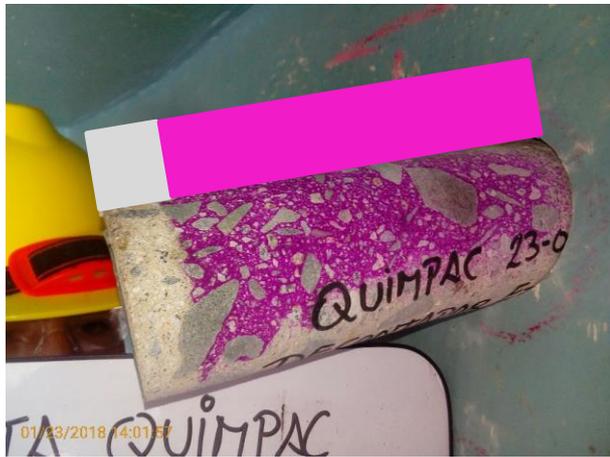


Figura 29: Evidencia de frente carbonatada en el espesor de la superficie donde el concreto no cambio de color a rojo purpura o rosa. Fuente propia

Finalmente, se registra los resultados obtenidos en el Formato 4, adjunto en Anexo 01 y para un mejor entendimiento se presenta un modelo de llenado en la Tabla 22.

Tabla 22: Ejemplo para el registro de datos en el formato 04. Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-04			Código del edificio: ECA 03
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 03_C-1	Columna	8.20	8.63
ECA 03_C-2	Columna	9.50	

ECA 03_C-3	Columna	8.20	
ECA 03_V-1	Viga	5.00	7.50
ECA 03_V-2	Viga	10.00	
ECA 03_V-3	Viga	7.50	
Fecha de ensayo:25/01/2018			

En la Figura 30 se muestra el diagrama, para la ejecución de la extracción del núcleo de diamantina y la prueba cualitativa de carbonatación del concreto descritas en la sección 4.3.2.2.

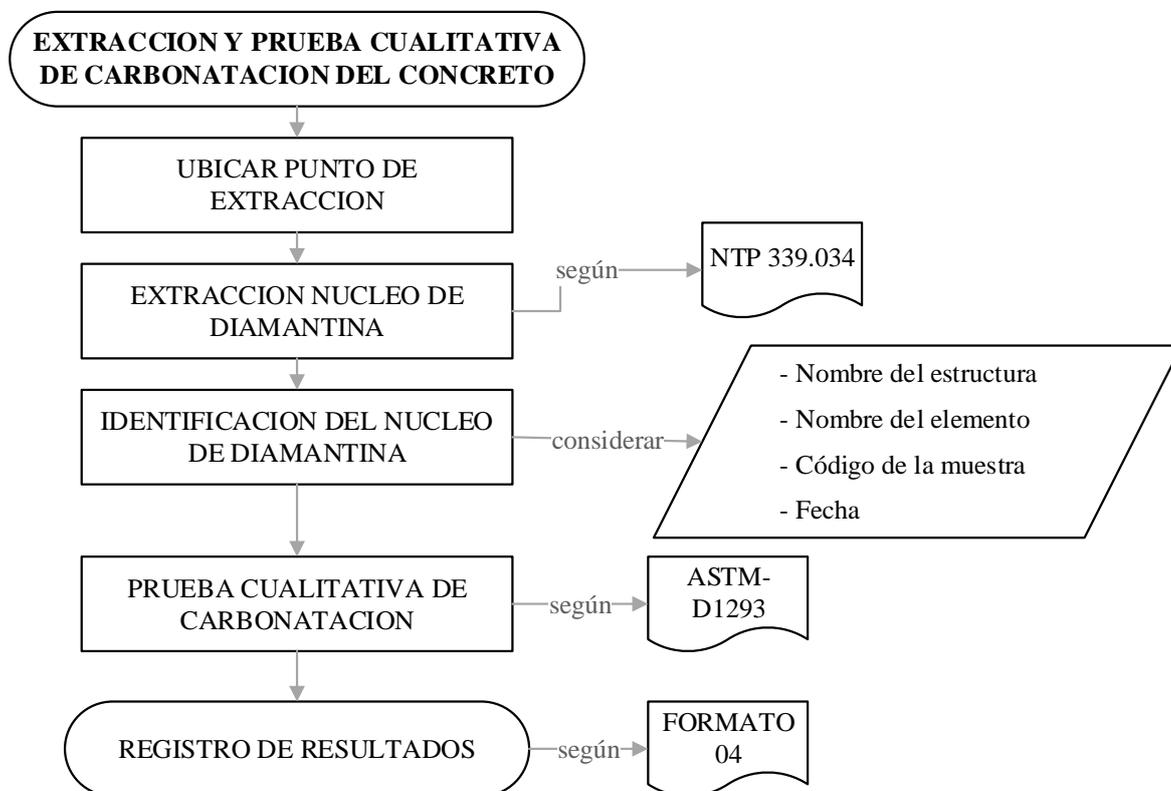


Figura 30: Flujo de trabajo para la extracción y prueba cualitativa de carbonatación del concreto. Fuente propia

6.1.3 Evaluación de la calidad del acero de refuerzo.

La evaluación del acero de refuerzo se realiza ubicando la armadura de refuerzo y espesor de recubrimiento del concreto, la pérdida de la sección de la barra de acero, y la medición del potencial de corrosión.

Respecto a la evaluación de la calidad del acero de refuerzo, se ubica un punto de inspección en la parte central del elemento estructural donde no se observe indicios de corrosión. Seguidamente se realiza la confección de una regata (Figura 31), limpieza superficial del elemento estructural alrededor de la regata (Figura 32) y la limpieza del acero de refuerzo para retirar el polvo y los restos de concreto (Figura 33). Humedecimiento de la parte superficial alrededor de la regata (Figura 34). A partir de esto, se mide el espesor del recubrimiento y el diámetro del acero de refuerzo. Después se procederá a medir el diferencial de potencial que se genera entre el acero de refuerzo (Figura 35), en conformidad con la norma ASTM C876/876M.

Se identifica el ensayo con los siguientes datos básicos: nombre del edificio, nombre del elemento donde se ha realizado el ensayo, lecturas tomadas con el equipo megóhmetro del modelo multifuncional ZBL-R800, y la fecha como se ilustra en la Figura 36 . Finalmente, se procede a registrar los resultados del ensayo en Formato 5, que se encuentra en el Anexo 01 y para un mejor entendimiento se muestra un ejemplo del registro de datos en la Tabla 23.



Figura 31: Confección de regata de elemento estructural hasta encontrar acero de refuerzo. Fuente propia



Figura 32: Escarificado y limpieza de la parte superficial del elemento estructural. Fuente propia



Figura 33: Limpieza del refuerzo del elemento estructural. Fuente propia



Figura 35: Medición del potencial eléctrico. Fuente propia



Figura 34: Humedecimiento de la superficie del elemento estructural. Fuente propia

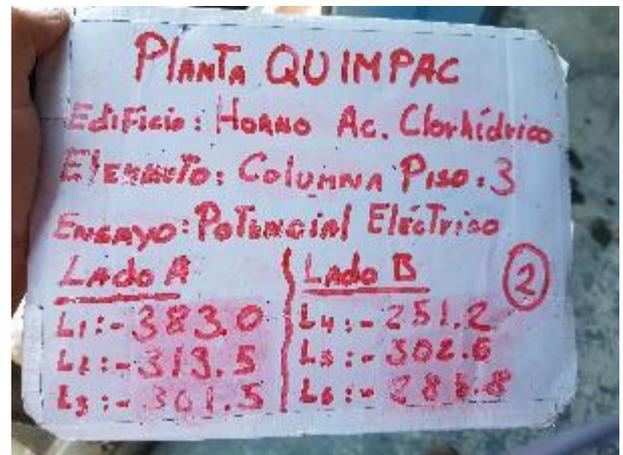


Figura 36: Etiqueta del ensayo de potencial de semiceldas. Fuente propia

En la Figura 37 se presenta el diagrama, para la evaluación del acero de refuerzo descrito en la presente sección.

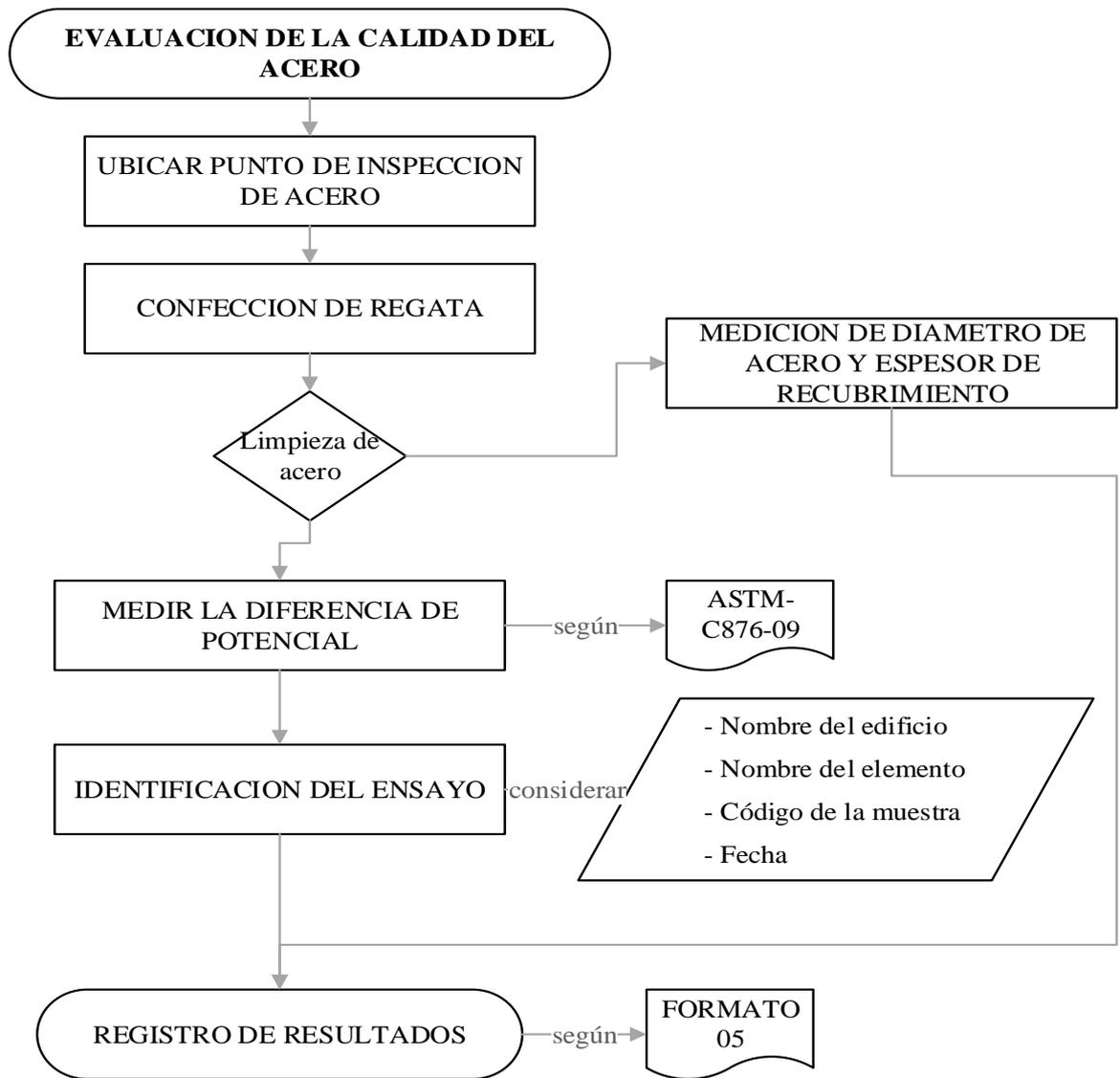


Figura 37: Flujo de trabajo para la evaluación de la calidad del acero. Fuente propia

Tabla 23: Ejemplo para el registro del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del formato 05.1. Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: HORNOS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO			Código del edificio: ECA 05
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 05_C-1	Columna	25	25.33

ECA 05_C-2	Columna	27	
ECA 05_C-3	Columna	24	
ECA 05_V-1	Viga	25	
ECA 05_V-2	Viga	28	25.33
ECA 05_V-3	Viga	23	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

Tabla 24: Ejemplo para el registro del espesor de diámetro del acero de refuerzo en formato 05.2. Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: HORNOS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO			Código del edificio: ECA 05
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 05_C-1	Columna	15.50	15.73
ECA 05_C-2	Columna	15.80	
ECA 05_C-3	Columna	15.88	
ECA 05_V-1	Viga	15.88	15.53
ECA 05_V-2	Viga	15.20	
ECA 05_V-3	Viga	15.50	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

Tabla 25: Ejemplo para el registro del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo en formato 05.3. Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: HORNOS DE ACIDO CLORHIDRICO						Código del edificio:		ECA 05	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 05 _ PE-1	Columna	-288.90	-276.20	-301.60	-268.80	-261.20	-282.90	-335.92	-290.96
ECA 05 _ PE-2	Columna	-383.00	-313.50	-301.50	-251.20	-302.60	-285.80	-306.27	
ECA 05 _ PE-3	Columna	-242.30	-223.30	-228.20	-262.00	-214.40	-214.00	-230.70	
ECA 05 _ PE-4	Viga	-241.70	-249.00	-257.30	-236.50	-238.00	-253.50	-246.00	-306.81
ECA 05 _ PE-5	Viga	-258.20	-284.50	-321.00	-240.50	-284.80	-293.50	-280.42	
ECA 05 _ PE-6	Viga	-334.40	-359.20	-456.90	-360.10	-368.40	-485.10	-394.02	
Fecha de evaluación: 23/01/2018									

6.2 Estimación de la vida útil residual de los edificios de concreto armado en plantas industriales

La predicción de la vida útil residual de un edificio se calcula siguiendo la metodología Semi Probabilística descrita en la sección 3.2.6. Para este fin, se formuló una hoja de cálculo en Excel, donde se procedió a registrar la información de campo y calcular los parámetros para estimar la vida útil residual, como se indica a continuación:

- Se registra el resultado de la resistencia a compresión de los núcleos de diamantina, espesor del frente carbonatado, y los coeficientes generales del edificio.
- Se calcula el periodo de iniciación de la corrosión (t_i) mediante el modelo de la carbonatación, según ecuación 04.
- Luego se registra el espesor de recubrimiento, diámetro del acero de refuerzo, y los resultados de velocidad de corrosión según la tabla 11.
- Se calcula el periodo de propagación con la ecuación 07.
- Se suma los resultados del periodo de iniciación y propagación de la corrosión, para obtenerse la vida útil residual.

Para un mejor entendimiento de los pasos descritos, se presenta en el desarrollo del cálculo del periodo de iniciación en la Tabla 35 y Tabla 36 para las columnas y vigas. En la Tabla 37 y Tabla 38 el cálculo del periodo de propagación para la columna y viga. Por último, en la Tabla 39 y Tabla 40 la estimación de la vida útil residual para la columna y viga de los edificios de concreto armado en la planta industrial.

A partir de los resultados obtenidos en 60 elementos estructurales que conforman los 10 edificios en concreto armado de las plantas industriales inspeccionadas, se propone una tabla simplificada como referencia para la estimación rápida de la vida útil residual, la cual puede facilitar en las futuras inspecciones de edificaciones en plantas industriales, tener una idea del tiempo de vida útil y la necesidad de una posible intervención de las estructuras

Para la confección de la tabla simplificada, en base a los resultados obtenidos en la investigación, se establece la correlación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión medido en los elementos estructurales. Teniendo estas dos entradas de datos y haciendo uso de Microsoft Excel se confecciona un gráfico de dispersión cuya abscisa X es el potencial de corrosión, y ordenada Y es la Vida útil residual, y se extrae la ecuación que establece la correlación entre estos dos parámetros, para la confección de la tabla simplificada.

Capítulo VII: Presentación y Discusión de Resultados

7.1. Inventario de patologías encontradas en los elementos estructurales de concreto

En la Tabla 26, se presenta el resumen de las áreas afectadas en los diez edificios inspeccionados por tipo de elemento estructural. La información sobre los resultados de inspección detallada para cada uno de los edificios, se encuentra el anexo 2.

Tabla 26: Resumen de los resultados de la inspección visual en campo de los edificios de concreto armado de la planta industrial QUIMPAC. Fuente propia

N°	EDIFICIO INSPECCIONADO	ELEMENTO	SUPERFICIE	AREA AFECTADA	% AFECCION
ECA - 01	Decantador E-01	Columna	60.48	54.64	90.34%
		Muro	278.08	40.86	14.69%
		Viga	138.95	36.87	26.53%
		Losa	223.32	50.98	22.83%
		Sub total	700.83	183.35	26.16%
ECA - 02	Decantador E-02	Columna	54.72	48.28	88.23%
		Muro	273.28	10.45	3.82%
		Viga	138.95	21.4	15.40%
		Losa	223.32	52.25	23.40%
		Sub total	690.27	132.38	19.18%
ECA - 03	Decantador E-04	Columna	132.48	77.21	58.28%
		Muro	317.92	10.45	3.29%
		Viga	126.63	33.47	26.43%
		Losa	207.64	47.01	22.64%
		Sub total	784.67	168.14	21.43%
ECA - 04	Decantador E-05	Columna	155.52	79.68	51.23%
		Muro	331.36	1.9	0.57%
		Viga	126.63	33.18	26.20%
		Losa	207.64	42.49	20.46%
		Sub total	821.15	157.25	19.15%
ECA - 05	Hornos de Ácido Clorhídrico	Columna	309.12	156.98	50.78%
		Viga	395.36	185.88	47.02%
		Losa	518.88	120.48	23.22%
		Sub total	1223.36	463.34	37.87%
ECA - 06	Reactores	Columna	60.16	52.58	87.40%
		Viga	240.80	55.26	22.95%
		Losa	900.00	51.62	5.74%
		Sub total	1200.96	159.46	13.28%
ECA - 07	Cloro Liquido	Columna	89.28	41.69	46.70%
		Viga	243.24	72.99	30.01%
		Losa	652.00	47.43	7.27%
		Sub total	984.52	162.11	16.47%

ECA - 08	Gris DP-03	Columna	168.20	129.81	77.18%
		Viga	108.46	95.22	87.79%
		Losa	116.44	90.6	77.81%
		Sub total	393.10	315.63	80.29%
ECA - 09	Roca Fosfórica	Columna	274.00	123.08	44.92%
		Viga	297.00	186.21	62.70%
		Losa	392.00	192.75	49.17%
		Sub total	963.00	502.04	52.13%
ECA - 10	Precipitador DP-08-5	Columna	50.60	8.79	17.37%
		Viga	23.76	9.53	40.11%
		Losa	29.16	3.68	12.62%
		Sub total	103.52	22.00	21.25%
		TOTAL	7865.38	2265.70	28.81%

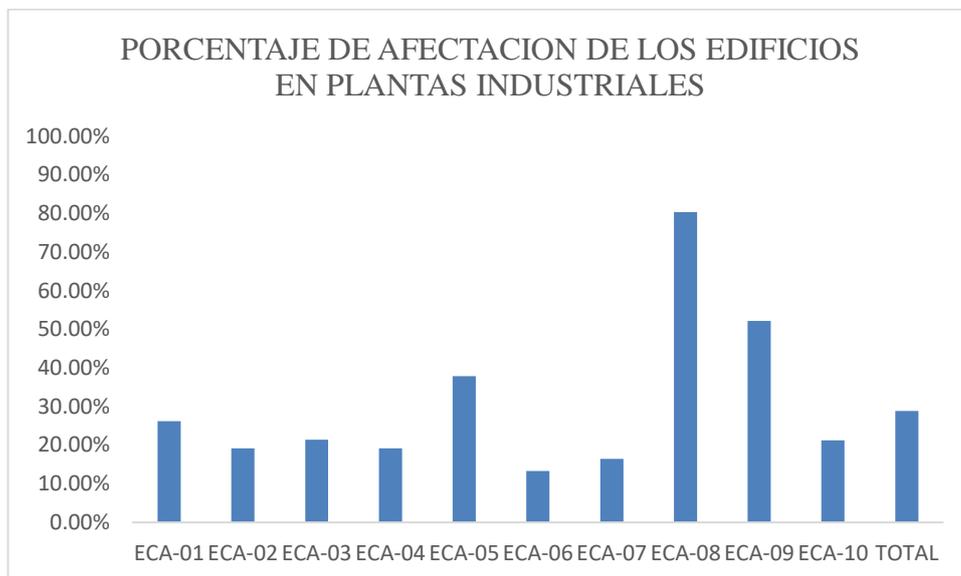


Figura 38: Representación gráfica del porcentaje de afectación del área superficial de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia

De los resultados obtenidos, se aprecia que los elementos estructurales columnas tienen la mayor afectación en áreas observadas para todos los edificios inspeccionados, fluctuando entre 17.37% a 90.34% del área total. Seguidamente las vigas tienen un rango de área de afectación entre 15.40% a 87.79%, los muros entre 0.57% a 14.69%, y las losas entre 5.74% a 77.81%.

De la Figura 38, se puede apreciar que el edificio ECA-08 presenta mayor área de afectación, siendo del 80.29%, seguido por el edificio ECA-09 con 52.13%. Estas áreas de afectación están asociadas con problemas de patologías y daños que son presentados en el anexo 02.

Con relación a los tipos de daños y/o patologías encontrados en las estructuras de concreto armado se tiene las siguientes patologías identificadas: delaminación del concreto (DC) Figura 39, reparación deficiente (RD) Figura 40, corrosión expuesta (CE) Figura 41, y

fisuras (F) Figura 42 las cuales se representan a continuación con una representación fotográfica, a mayor detalle se presenta el registro fotográfico del mapeo en campo en el anexo 02 por cada edificio en estudio.



Figura 39: Delaminación de concreto(DC), (a) Volado losa aligerada $e=25\text{cm}$, (b) Viga Perimetral y (c) Columna central Eje D/C - 1er Piso, en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente propia



Figura 40: Reparación deficiente (RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente propia

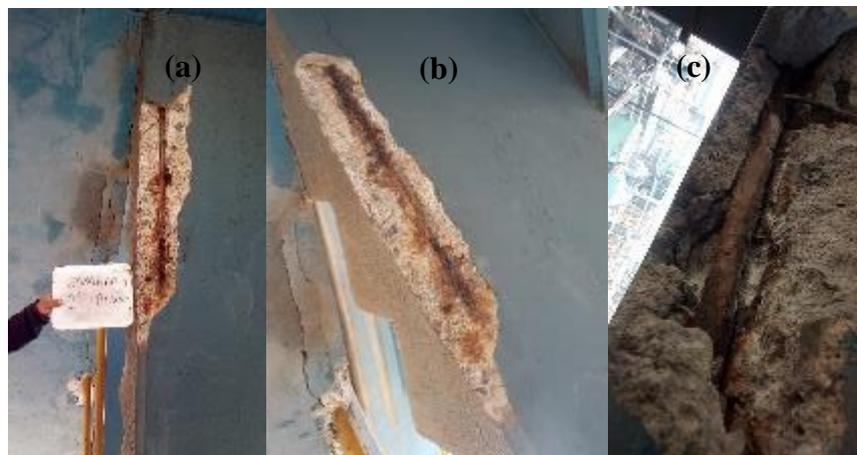


Figura 41: Corrosión Expuesta (CE), (a) Columna eje E/C, (b) Escalera y (c) Columna Eje A/C, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente propia

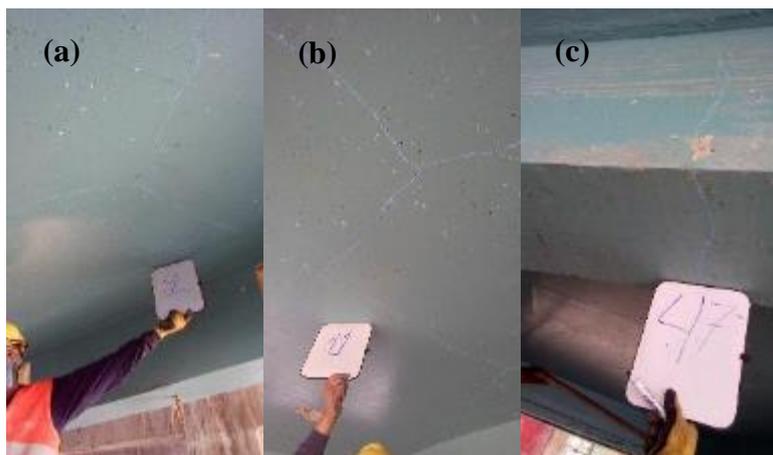


Figura 42: (a) Fisuras <math><0.04\text{ mm}</math> (F), Losa aligerada $e=25\text{cm}</math> perimetral, (b) Losa Aligerada $e=25\text{cm}</math> perimetral y (c) Viga Eje C, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02).
Fuente propia$$

En la Figura 43, se presenta un resumen con la cantidad encontrada de estos tipos de patologías y daños para todos los edificios inspeccionados. Se puede apreciar que la delaminación del concreto es la patología de mayor incidencia, estando presente en los edificios ECA-08, y ECA-05 en más del 50%. En los demás casos, la delaminación se encuentra por debajo del 10% en los edificios.

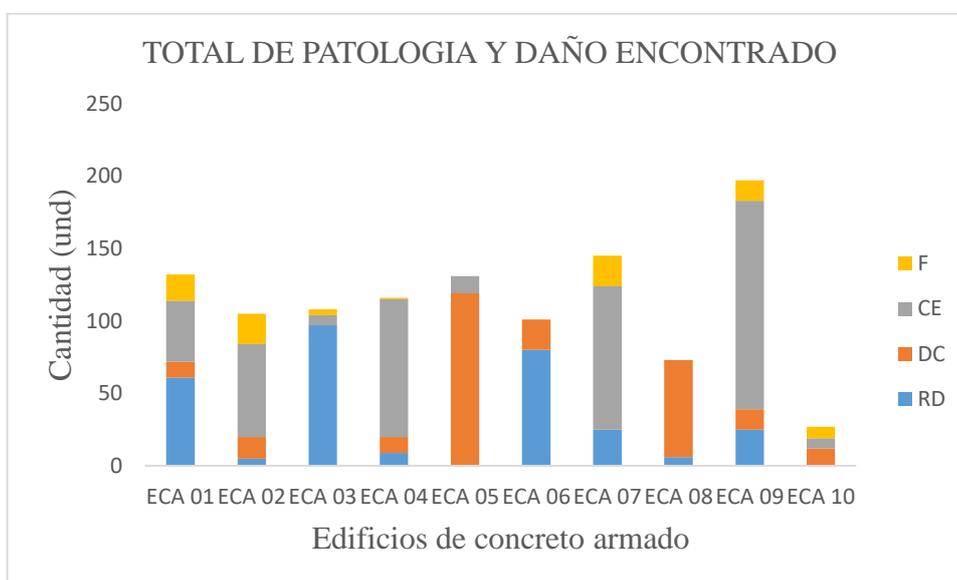


Figura 43: Resumen de la cantidad de patologías y daños encontrados. Fuente propia

Se ha confeccionado los diagramas de Pareto (Figura 44 a Figura 54) para cada edificio inspeccionado, donde se relaciona las áreas afectadas por tipo de daño, con la finalidad de cuantificar las principales causas de las afectaciones según la regla 80%-20%. En estas gráficas se representa cada tipo de patología y/o daño con un color determinado de la siguiente manera: el color azul representa la reparación deficiente, verde claro representa la delaminación del concreto, verde oscuro representa la corrosión expuesta y el amarillo a las fisuras.

Se puede apreciar que aproximadamente el 80% de las patologías y daños encontrados corresponde a **delaminación del concreto y reparaciones deficientes** que se han realizado a la estructura.

Por otro lado, la patología delaminación se encuentra en gran incidencia presente como causa principal en los edificios ECA 02 (68.66%), ECA-03 (71.68%), ECA-04 (74.45%), ECA-05 (61.91%), ECA-07 (80.86%), ECA-08 (70.23%), ECA-09 (69.39%), y ECA-10 (77.59%) siendo en todos los casos valores muy críticos que evidencian problemas de corrosión a corto plazo en las estructuras columnas y vigas principalmente.

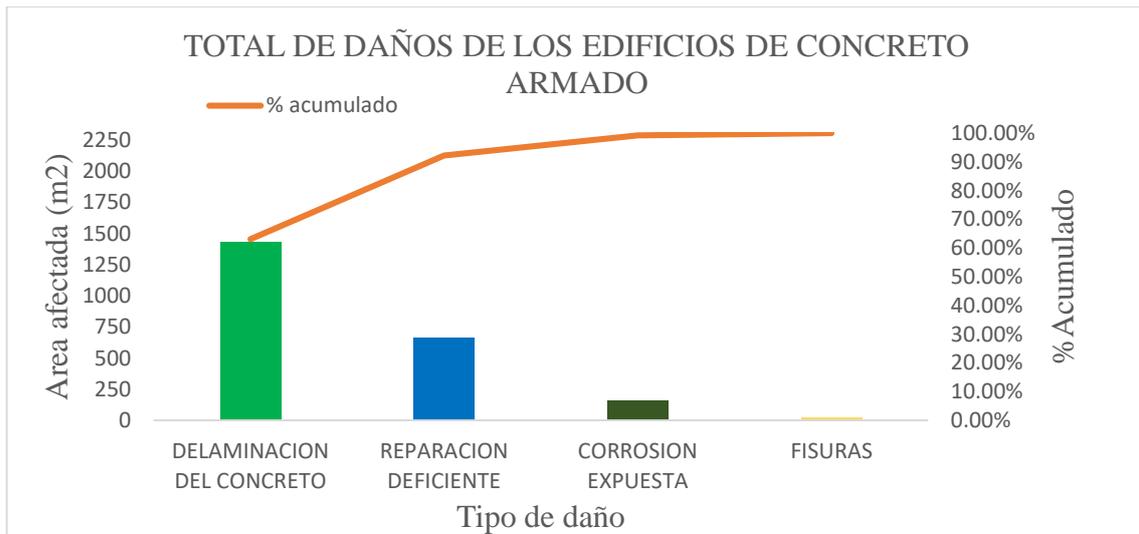


Figura 44: Diagrama de Pareto de los edificios de concreto armado. Fuente propia

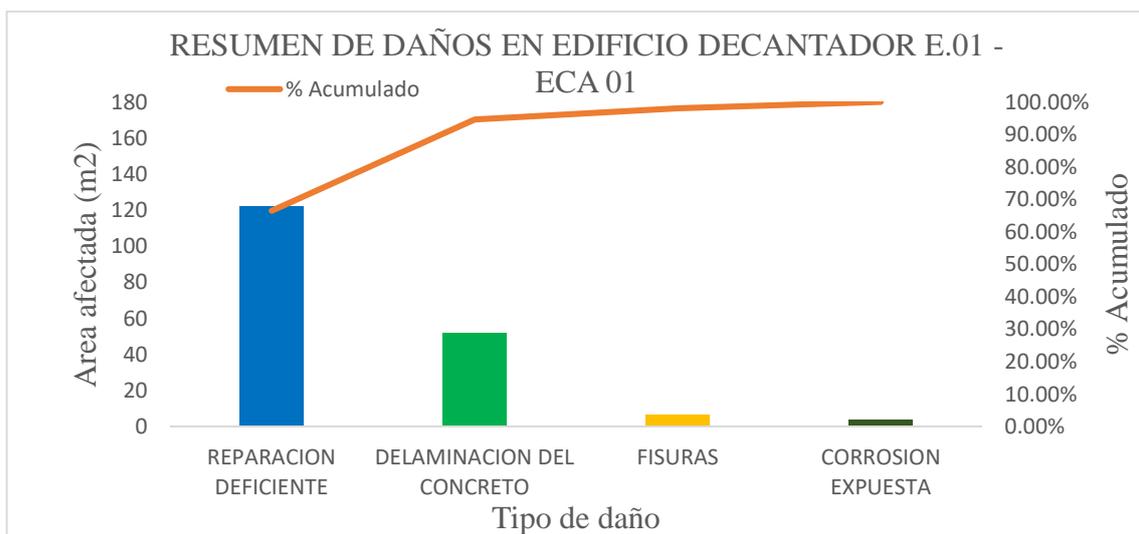


Figura 45: Diagrama de Pareto del edificio decantador E.01 - ECA-01. Fuente propia

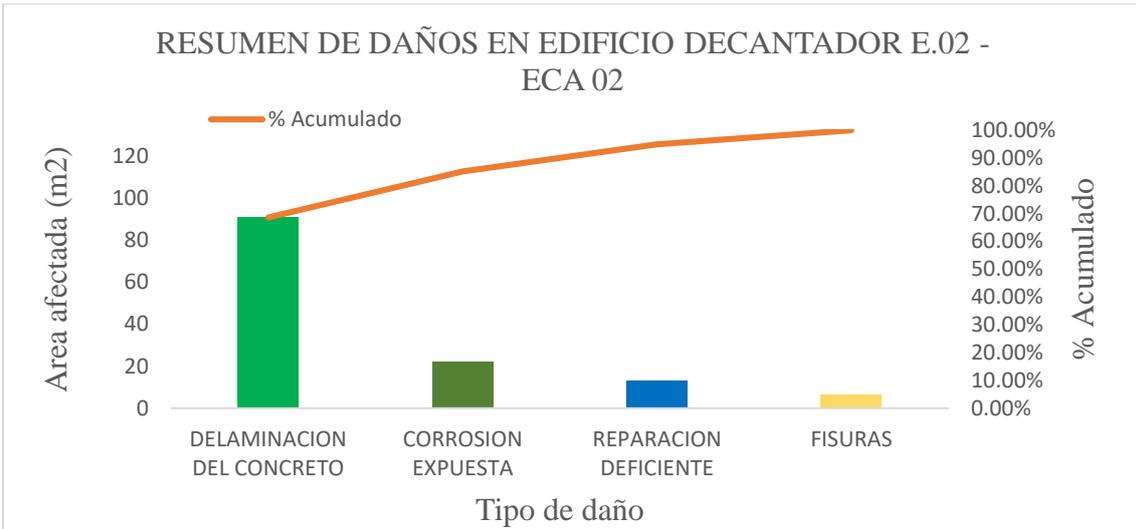


Figura 46: Diagrama de pareto del edificio decantador E.02 - ECA-02. Fuente propia

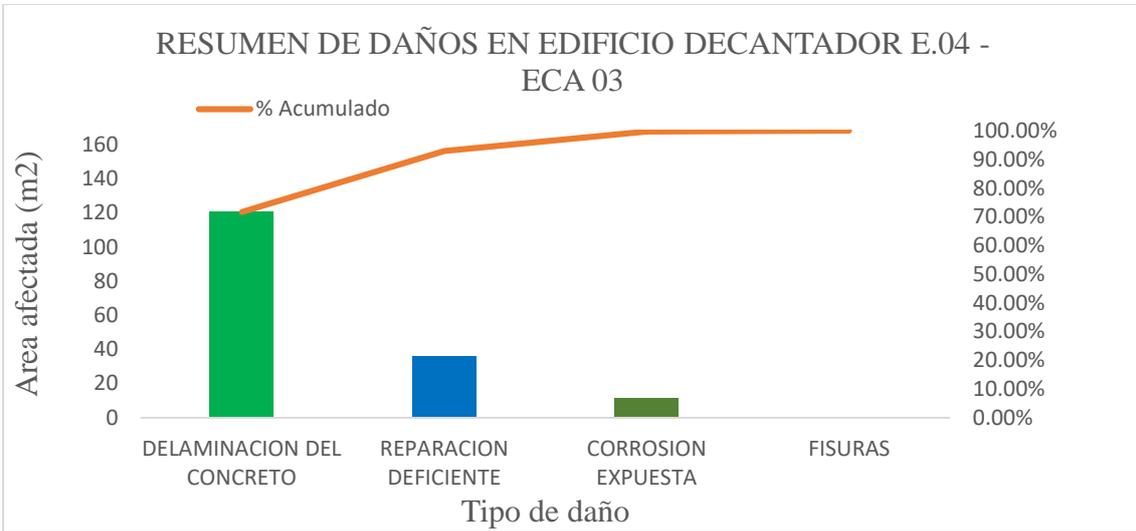


Figura 47: Diagrama de pareto del edificio decantador E.04 - ECA-03. Fuente propia

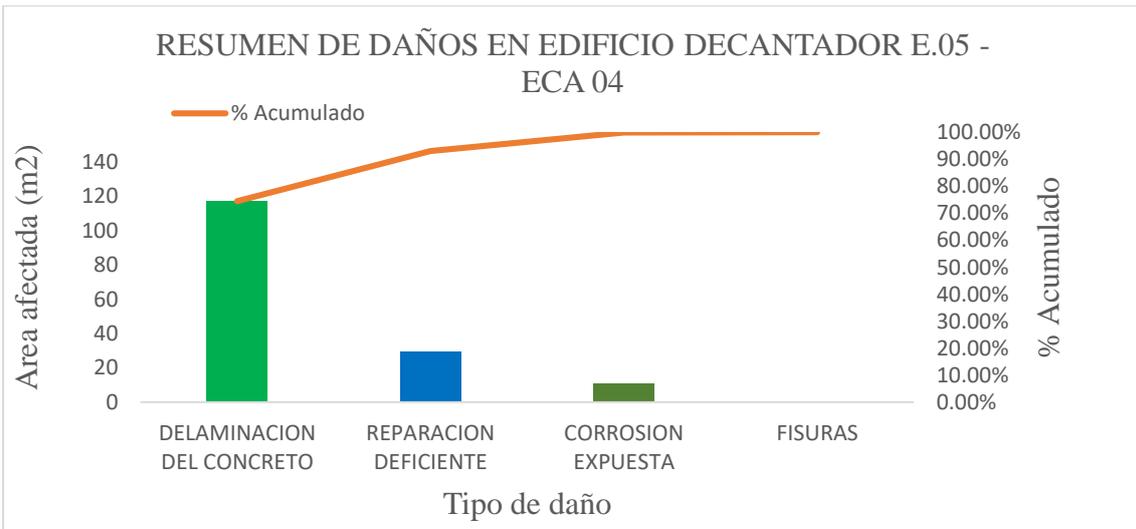


Figura 48: Diagrama de pareto del edificio decantador E.05 - ECA-04. Fuente propia

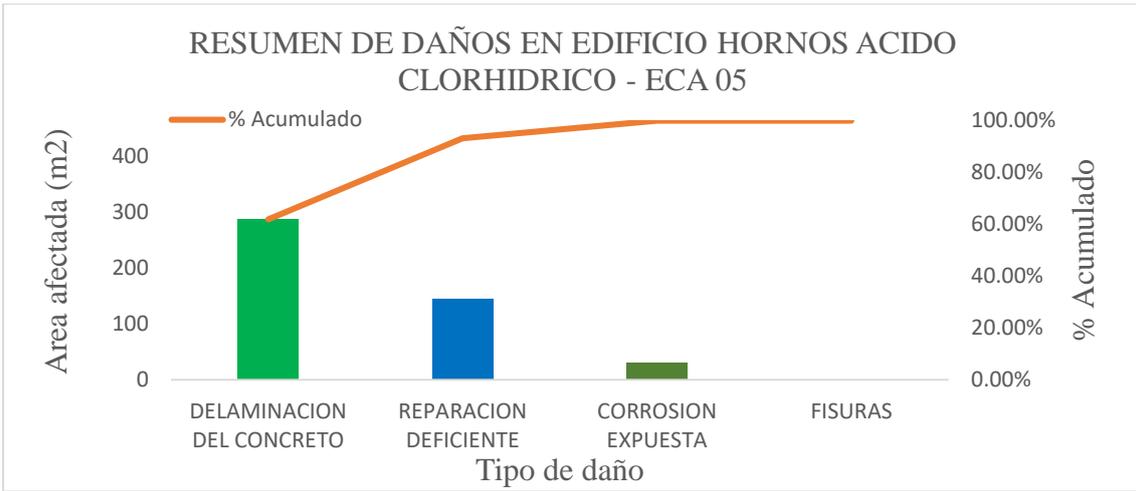


Figura 49: Diagrama de pareto del edificio Hornos Ácido Clorhídrico - ECA-05. Fuente propia

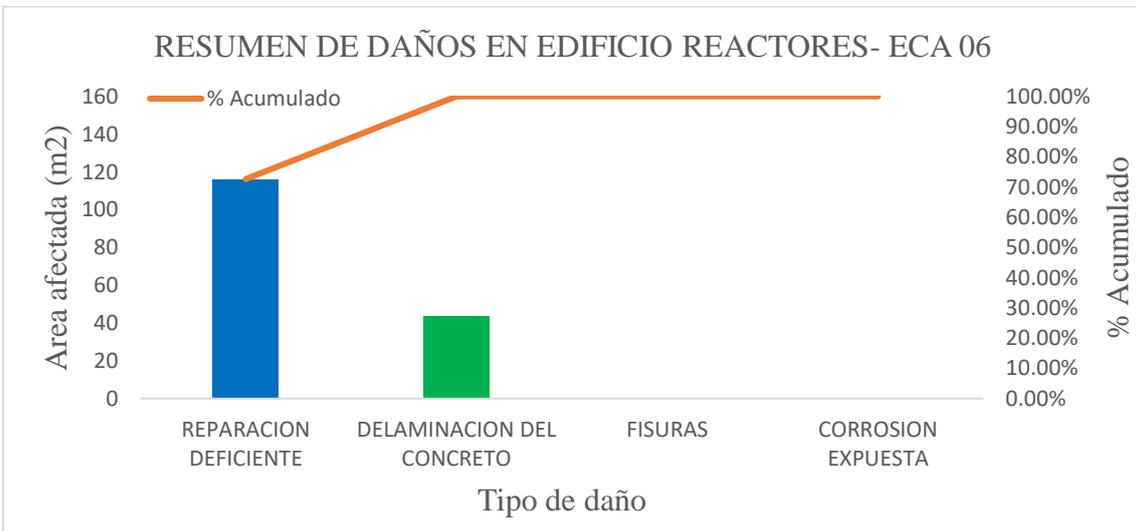


Figura 50: Diagrama de pareto del edificio Reactores - ECA-06. Fuente propia

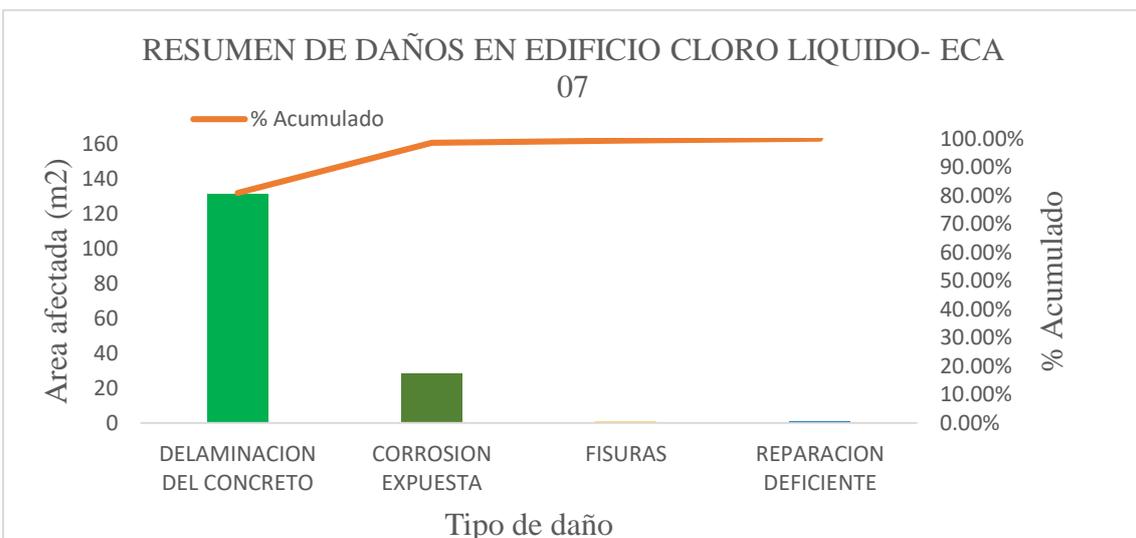


Figura 51: Diagrama de pareto del edificio Cloro Líquido - ECA-07. Fuente propia

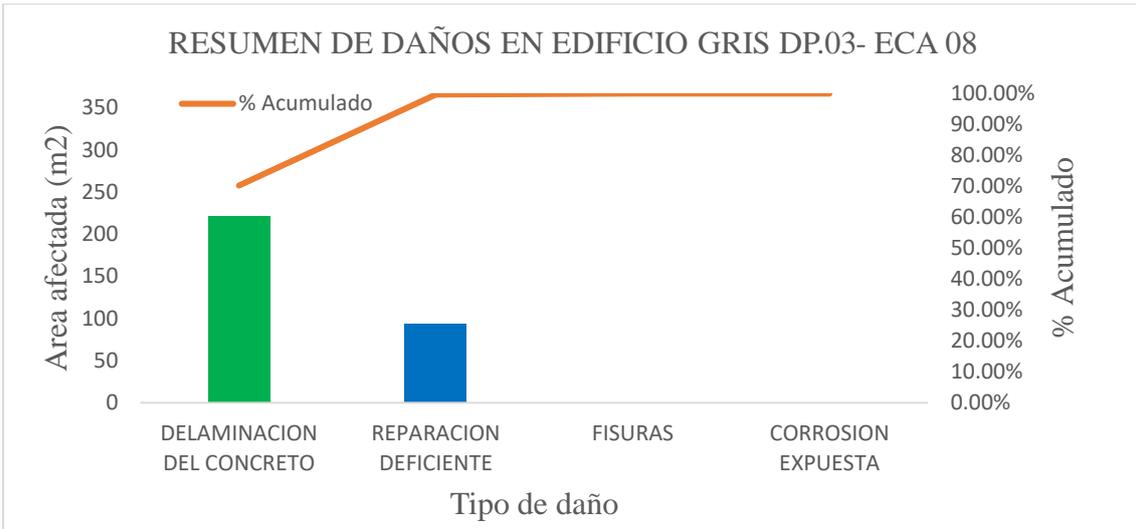


Figura 52: Diagrama de pareto del edificio Gris - ECA-08. Fuente propia

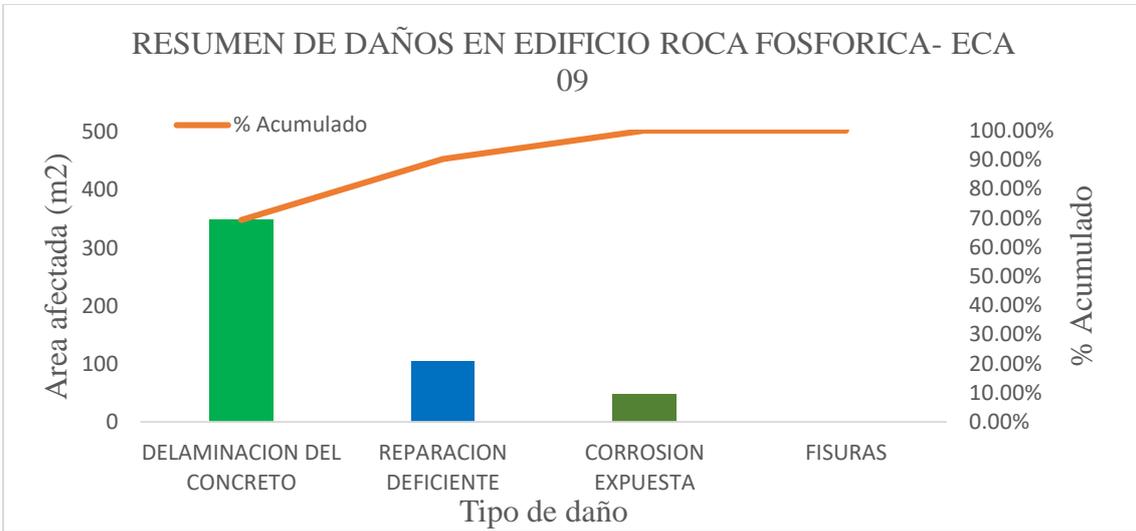


Figura 53: Diagrama de pareto del edificio Roca Fosfórica - ECA-09. Fuente propia

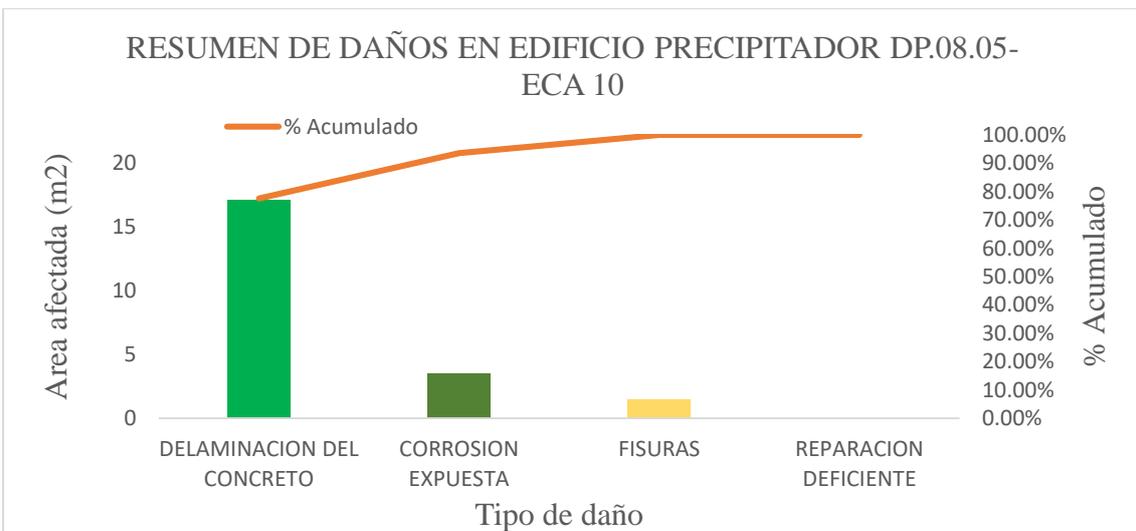


Figura 54: Diagrama de pareto del edificio Precipitadores DP.08.05 - ECA-10. Fuente propia

Por otro lado, en la Figura 55 que representa el daño acumulado de los diez edificios. Donde se observa que el 63.06% representa a la delaminación del concreto, seguido por el 29.15% de reparación deficiente, 7.03% corrosión expuesta y 0.76% de fisuras.

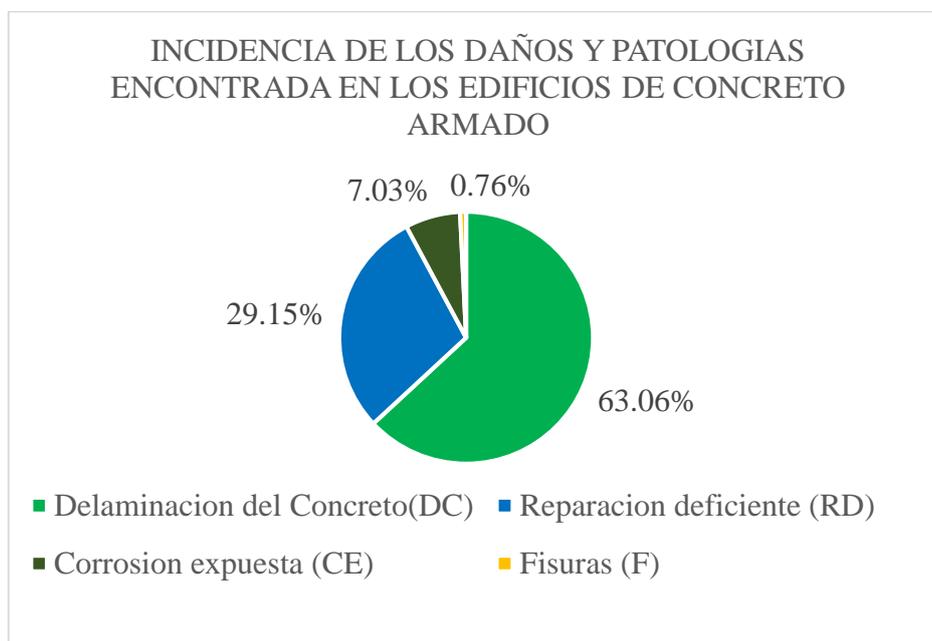


Figura 55: Incidencia de los tipos de daños y patologías en los edificios de concreto armado. Fuente propia

Por otra parte, en la Tabla 27, se presenta el resumen de la calificación otorgada a los elementos estructurales principales (columna, muro, viga, losa) en cuanto a su extensión, gravedad y evolución para los diez edificios inspeccionados. La información sobre los resultados de esta evaluación detallada para cada uno de los edificios, se encuentra el anexo 2.

Tabla 27: Resumen de los resultados de la calificación de la condición de los elementos estructurales de los edificios de concreto armado de la planta industrial QUIMPAC. Fuente propia

Nº EDIFICIO INSPECCIONADO	ELEMENTO	EXTENSIÓN	GRAVEDAD	EVOLUCIÓN	TOTAL
ECA -01 Decantador E-01	Columna	4	2	2	8
	Muro	1	0	2	3
	Viga	2	1	2	5
	Losa	1	1	2	4
	Sub total	2	1	2	5
ECA -02 Decantador E-02	Columna	4	2	2	8
	Muro	1	0	2	3
	Viga	1	1	2	4
	Losa	1	1	2	4

	Sub total	1	1	2	4
ECA -03 Decantador E-04	Columna	3	1	2	6
	Muro	1	0	2	3
	Viga	2	1	2	5
	Losa	1	1	2	4
	Sub total	1	1	2	4
ECA -04 Decantador E-05	Columna	3	1	2	6
	Muro	1	0	2	3
	Viga	2	1	2	5
	Losa	1	1	2	4
	Sub total	1	1	2	4
ECA -05 Hornos de Ácido Clorhídrico	Columna	3	1	2	6
	Viga	2	1	2	5
	Losa	1	1	2	4
	Sub total	2	1	2	5
ECA -06 Reactores	Columna	4	2	2	8
	Viga	1	1	2	4
	Losa	1	0	2	3
	Sub total	1	1	2	4
ECA -07 Cloro Liquido	Columna	2	1	2	5
	Viga	2	1	2	5
	Losa	1	0	2	3
	Sub total	1	1	2	4
ECA -08 Gris DP-03	Columna	4	2	2	8
	Viga	4	2	2	8
	Losa	4	1	2	7
	Sub total	4	2	2	8
ECA -09 Roca Fosfórica	Columna	2	2	2	6
	Viga	3	2	2	7
	Losa	2	1	2	5
	Sub total	3	2	2	7
ECA -10	Columna	1	1	2	4
	Viga	2	1	2	5

Precipitador DP-08-5	Losa	1	1	2	4
	Sub total	1	1	2	4

En la Figura 56, se califica la extensión de los daños en los elementos estructurales calificando con una puntuación de 1 a 4 según la Tabla 14. Al respecto, se presenta las siguientes interpretaciones extraídas del análisis:

- Los elementos estructurales columnas, vigas y losas del edificio ECA-08, están comprometidos con un grado afectación mayor a 75%, siendo calificado por el MTC de grado 4.
- Por otro lado, los elementos estructurales columnas del edificio ECA-01, ECA-02 y ECA-06, están comprometidos con un grado de afectación mayor a 75%, siendo calificado por el MTC de grado 4.
- En cuanto al desempeño de los elementos estructurales columnas en los edificios ECA-03, ECA-04, y ECA-05, estos están comprometidos con un grado de afectación entre 50% a 75%. Asimismo, los elementos estructurales vigas del edificio ECA-09 están comprometidos con un grado de afectación similar.
- Respecto al desempeño de los elementos estructurales vigas en los edificios ECA-01, ECA-03, ECA-04, ECA-05, ECA-07, y ECA-10, estos se encuentran comprometidos con un grado de afectación entre 25% a 50%.
- Respecto al desempeño de los elementos estructurales columnas en los edificios ECA-07 y ECA-09, estos se encuentran comprometidos con un grado de afectación entre 25% a 50%. Asimismo, los elementos estructurales losas del edificio tiene un grado de afectación entre 25% a 50%.
- En cuanto al desempeño de los elementos estructurales losas en los edificios ECA-01, ECA-02, ECA-03, ECA-04, ECA-05, ECA-06, ECA-07, y ECA-10, estos se encuentran comprometidos con un grado de afectación entre 0% a 25%.
- Para el caso del desempeño de los elementos estructurales muros en los edificios ECA-01, ECA-02, ECA-03, ECA-04, estos poseen un grado de afectación entre 0% a 25%.

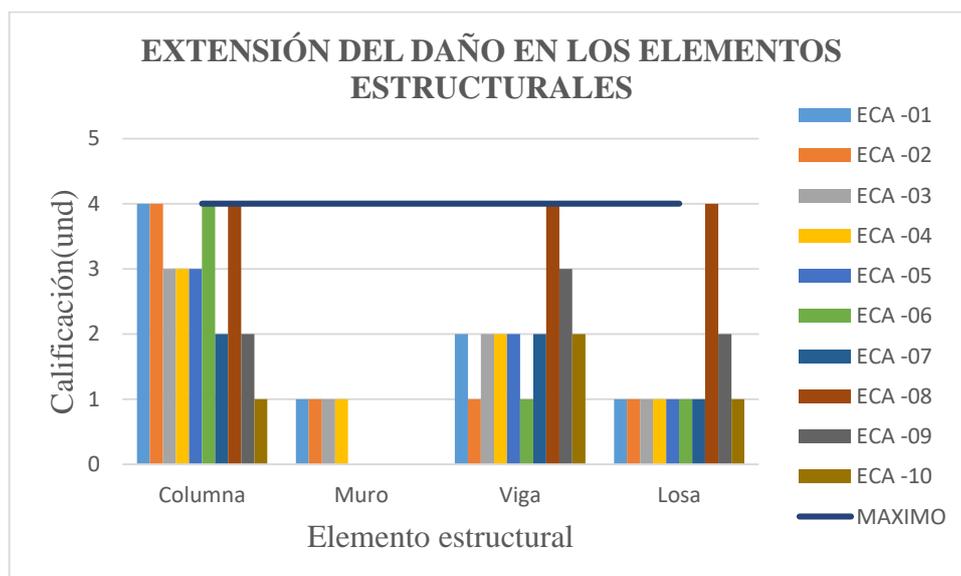


Figura 56: Representación gráfica de extensión del daño de los edificios de concreto armado. Fuente propia.

En la Figura 57, se califica la gravedad de los daños encontrados en la inspección visual, en los elementos estructurales calificando con una puntuación entre 0 a 2 según la Tabla 15. Se presenta a continuación las siguientes interpretaciones extraídas del análisis:

- Los elementos estructurales vigas de los edificios ECA-05, ECA-08 y ECA-09 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Elevada de grado 2.
- Los elementos estructurales columnas de los edificios ECA-01, ECA-02, ECA-06, ECA-08, y ECA-09 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Elevada de grado 2
- Los elementos estructurales vigas de los edificios ECA-01, ECA-02, ECA-03, ECA-04, ECA-06, ECA-07 y ECA-10 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Media de grado 1.
- Los elementos estructurales columnas de los edificios ECA-03, ECA-04, ECA-05, ECA-07 y ECA-10 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Media de grado 1.
- Los elementos estructurales losas de los edificios ECA-01, ECA-02, ECA-03, ECA-04, ECA-05, ECA-08, ECA-09, y ECA-10 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Media de grado 1.
- Los elementos estructurales muros para el edificio ECA-01 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Media de grado 1.
- Los elementos estructurales losas para el edificio ECA-06, ECA-07 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Baja de grado 0.
- Los elementos estructurales muros para el edificio ECA-02, ECA-03, y ECA-04 están comprometidos con una gravedad calificada como Daño de Intensidad Baja de grado 0.

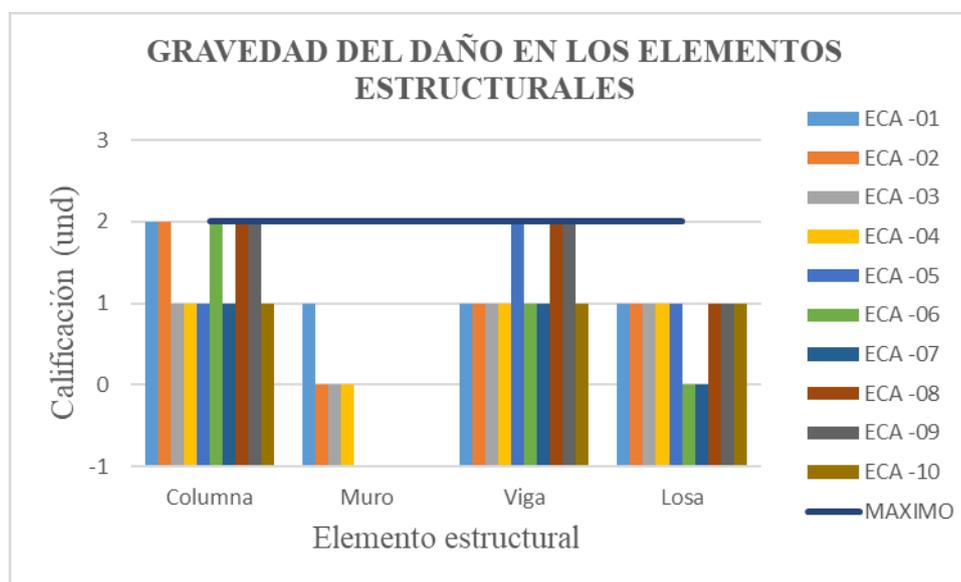


Figura 57: Representación gráfica de la gravedad del daño de los edificios de concreto armado. Fuente propia

En cuanto a la evolución de los daños de acuerdo al entorno ambiental y a la exposición continua en la que se encuentran los elementos estructurales, esta se realizó con una puntuación entre 0 a 2 según la Tabla 16. Se tiene que todas las edificaciones califican con la puntuación máxima, esto es debido a que todas las estructuras se encuentran en un ambiente altamente agresivo para las estructuras de concreto armado, por encontrarse en un

litoral marino, adicional a esto están expuestas a agentes químicos producidos en la planta industrial. Esta calificación señala que todas las edificaciones tienden a tener una velocidad rápida de deterioro por estar en ambiente agresivo.

7.2. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto según ensayos NDT y DT.

7.2.1. Resultados de la calidad del concreto según ensayo DT.

En la Tabla 28 se muestra el resumen de los resultados de resistencia a compresión obtenidos en las columnas, y en la Tabla 29 obtenidos en las vigas, para las diez edificaciones en estudio. Estos resultados fueron comparados con los requisitos de aceptación exigidos por la Norma E-060 del R.N.E para que un núcleo de diamantina sea considerada estructuralmente adecuado, los cuales se detallan a continuación:

- (1) El promedio de tres núcleos debe ser por lo menos igual al $85\%f'c$.
- (2) Ningún núcleo debe tener una resistencia menor al $75\%f'c$.

En la Tabla 28 se presenta los resultados de resistencia a compresión en las columnas, para los diez edificios en estudio. Se observa que ocho edificios cumplen con el requisito de la NTP-060, siendo las resistencias a compresión promedio fluctuantes en un rango de 19.93 a 30.9 MPa. Mientras que, la edificación ECA-08 la y ECA-02 no cumplen con los requisitos del R.N.E.

Tabla 28: Resumen de los resultados del ensayo de compresión de núcleos de diamantina en columna. Fuente propia

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION EN TESTIGOS DE DIAMANTINA, PARA EL CONCRETO DE 21 MPA EN COLUMNAS						
EDIFICIO	CODIGO DE EDIFICIO	RESISTENCIA A COMPRESION $f'c$ (MPa)		STATUS		
		Mínimo	Promedio	Min > $75\%f'c$	$Xi \geq 85\%f'c$	RESULTADO
Decantador E01	ECA-01	18.40	19.93	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Decantador E-02	ECA-02	16.00	17.53	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Decantador E-04	ECA-03	16.00	21.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Decantador E-05	ECA-04	17.90	21.77	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	17.00	20.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Reactores	ECA-06	19.80	22.50	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Cloro Líquido	ECA-07	19.30	23.20	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Gris DP.03	ECA-08	11.30	13.40	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Roca Fosfórica	ECA-09	24.50	28.43	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Precipitador DP.08.05	ECA-10	27.40	30.90	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

En la Tabla 29 se presenta los resultados de resistencia a compresión en vigas, para los diez edificios en estudio. Se observa que ocho edificios cumplen con el requisito de la NTP-060, siendo las resistencias fluctuantes en un rango de 19.97 a 29.80 MPa. Mientras que, la edificación ECA-08 y ECA-09 no cumplen con los requisitos del R.N.E, siendo las resistencias mínimas de 12.70 y 13.90 así como la resistencia promedio de 14.17 y 15.17.

Tabla 29: Resumen de los resultados del ensayo de compresión de núcleos de diamantina en viga. Fuente propia

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION EN TESTIGOS DE DIAMANTINA, PARA EL CONCRETO DE 21 MPA EN VIGAS						
EDIFICIO	CODIGO DE EDIFICIO	RESISTENCIA A COMPRESION f'_c (MPa)		EVALUACIÓN		
		Mínimo	Promedio	Min > 75%f'_c	$X_i \geq 85\%f'_c$	RESULTADO
Decantador E01	ECA-01	21.10	23.93	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Decantador E-02	ECA-02	18.60	21.73	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Decantador E-04	ECA-03	18.10	20.17	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Decantador E-05	ECA-04	17.90	19.97	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	20.70	22.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Reactores	ECA-06	19.90	22.77	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Cloro Líquido	ECA-07	18.80	21.00	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Gris DP.03	ECA-08	12.70	14.17	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Roca Fosfórica	ECA-09	13.90	15.70	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Precipitador DP.08.05	ECA-10	27.70	29.80	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

De acuerdo la Tabla 26 los elementos de los edificios se encuentran con daños superficiales significativos en todo el edificio. Sin embargo, realizando un análisis por cada elemento estructural (viga, columna, losa) se encuentra una relación directa entre el porcentaje de afectación superficial y la resistencia a compresión de los edificios. Por ejemplo, para el Edificio ECA 02 las columnas tienen una afectación del 88.23% lo que se traduce en una resistencia a compresión promedio de 17.53 MPa como se observa en la Tabla 28. Por el contrario, para el Edificio ECA-10 el porcentaje de afectación superficial en columnas es del 17.37% (Tabla 26) con lo que se tiene una resistencia a compresión de 30.90Mpa (Tabla 28). Asimismo, el edificio ECA-08 para las vigas tiene una afectación del 87.79%, como se muestra en la tabla Tabla 26, teniendo como resultado una resistencia a compresión de 12.70 MPa, como se puede ver en la Tabla 29. De esta manera se puede corroborar que a mayor afectación superficial en columnas o vigas menor resistencia compresión de los núcleos de diamantina.

En la Figura 58 en las abscisas se enumera los edificios de concreto armado de uno al diez, y en las ordenadas se considera la resistencia a compresión promedio. En esta grafica se puede observar claramente que el edificio ECA 08 para sus elementos columnas y vigas no cumple con ninguno de los requerimientos mínimos de la NTP E 060. Del edificio ECA 09 se puede mencionar que las columnas cumplen con los requerimientos de la NTP, a diferencia de las vigas que no cumplen con lo especificado en la norma. En cambio, para el edificio ECA 02 se observa que el promedio de la resistencia del concreto en las columnas no cumple con el requisito solicitado, a diferencia de las vigas que si cumplen. Por otro lado, se puede observar que el edificio ECA 10 tiene la resistencia promedio y mínima más alta que todos los demás edificios por lo que cumple claramente con lo especificado por la norma peruana.

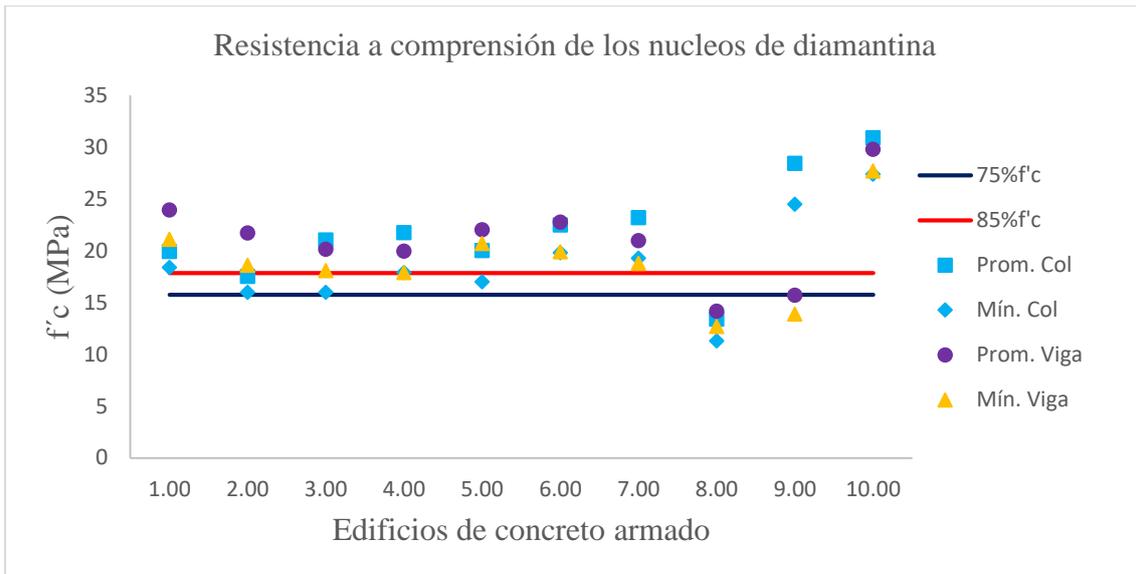


Figura 58: Representación de la resistencia a compresión de los núcleos de diamantina de los elementos estructurales. Fuente propia.

En la figura Figura 59, se representa la extracción y rotulación de un núcleo de diamantina en el edificio decantador E.01(ECA 01). El registro fotográfico de los diez edificios se encuentra en el anexo 03.



Figura 59: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 01- D1, (b) ECA 01- D2, (c) ECA 01- D3- Edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente propia

7.2.2. Resultados de la calidad del concreto según ensayo NDT.

Para el caso de los ensayos no destructivos NDT, se efectuó la prueba de carbonatación con el indicador de fenolftaleína en las columnas y vigas para los diez edificios, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado 6.1.2.2, página 44. Los valores obtenidos y el panel fotográfico del ensayo en cada edificio se encuentran en el anexo 03.

En la Tabla 30 se muestra los resultados sobre la medición de profundidad de carbonatación en tres columnas diferentes por cada edificio evaluado, en total 30 mediciones. Esta profundidad ha fluctuado entre 0.00 mm a 13.50 mm, siendo las más críticos los presentados

en los edificios ECA-06, ECA-01, ECA-02, y ECA-04. Para el caso de los edificios con menor profundidad de carbonatación en las columnas, se tiene los casos ECA-10 y ECA-09. Por otra parte, en la tabla se muestra el porcentaje de la penetración del frente carbonatado al recubrimiento, en ello se puede observar que los edificios ECA 06(59.84%), ECA-08(53.33%), ECA-02(53.23%) y ECA-01 (50.00%) muestran un deterioro de más del 50% de sus recubrimientos.

Tabla 30: Resumen de resultados del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína para columnas. Fuente propia

RESUMEN RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA PARA COLUMNAS				
EDIFICIO	CODIGO DE EDIFICIO	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (d - mm)		% FRENTE CARBONATADO
		D	PROMEDIO	
Decantador E01	ECA-01	11.50	11.33	50.00%
		10.00		
		12.50		
Decantador E-02	ECA-02	9.50	11.00	53.23%
		10.00		
		13.50		
Decantador E-04	ECA-03	8.20	8.63	30.47%
		9.50		
		8.20		
Decantador E-05	ECA-04	10.00	10.67	33.68%
		10.50		
		11.50		
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	8.00	10.00	39.47%
		12.00		
		10.00		
Reactores	ECA-06	10.50	12.17	59.84%

		12.50		
		13.50		
Cloro Liquido	ECA-07	5.00	9.17	30.22%
		10.00		
		12.50		
Gris DP.03	ECA-08	10.00	10.67	53.33%
		10.00		
		12.00		
Roca Fosfórica	ECA-09	4.00	5.00	15.31%
		6.00		
		5.00		
Precipitador DP.08.05	ECA-10	0.00	3.33	8.85%
		5.00		
		5.00		

En la Figura 60 se presenta los resultados de la profundidad de penetración del frente carbonatado versus la sumatoria de las condiciones globales (extensión, gravedad y evolución), teniendo en cuenta la calificación realizada en la Tabla 27 para las columnas. Se puede observar que la carbonatación sigue la tendencia de extensión, evolución y gravedad de daños en las estructuras columnas, de acuerdo las condiciones encontradas en la inspección visual. Además, se observa para una calificación máxima de 8 puntos, corresponde un espesor de carbonatación de 12.2 mm correspondiente al edificio ECA 06. Por el contrario, para la calificación mínima que se observa para el ECA 10 de grado 4 corresponde un frente carbonatado de 3.3 mm.

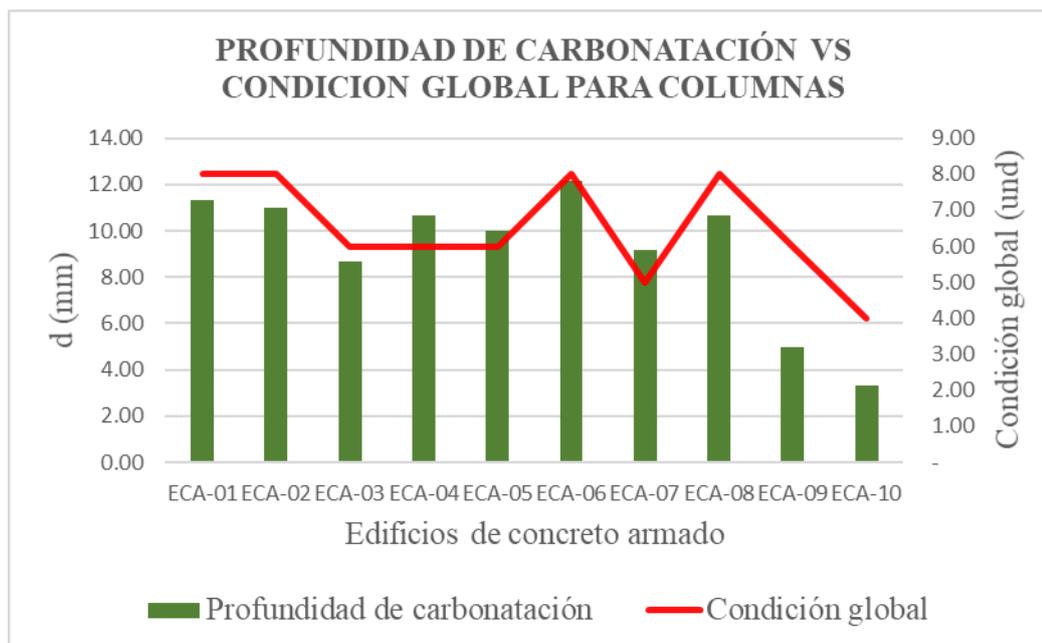


Figura 60: Resultado del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína VS Condición Global en Columnas. Fuente propia.

En la Tabla 31 se presenta los resultados sobre la medición de profundidad de carbonatación en tres vigas diferentes por cada edificio evaluado. Estos resultados de penetración de frente carbonatado fluctúan entre 4.0 a 14.50 mm, siendo los más críticos, los edificios ECA 08 y ECA 05 con un frente carbonatado promedio de 11.33 mm y 12.50 mm, respectivamente. Sin embargo, los edificios con menor afectación son ECA-01 y ECA-02 con un frente carbonatado promedio de 6.08 y 6.83 mm, respectivamente. Asimismo, en la tabla se muestra el porcentaje de la penetración del frente carbonatado versus el recubrimiento, se puede observar que el edificio ECA-08 muestra un grave deterioro con 61.48% de avance de la carbonatación en el recubrimiento.

Tabla 31: Resumen de resultados del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína para Vigas. Fuente propia

RESUMEN RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA PARA VIGAS				
EDIFICIO	CODIGO DE EDIFICIO	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (d - mm)		% FRENTE CARBONATADO
		D	PROMEDIO	
Decantador E01	ECA-01	4.50	6.08	18.81%
		6.50		
		7.25		
Decantador E-02	ECA-02	8.00	6.83	18.14%

		5.00		
		7.50		
Decantador E-04	ECA-03	5.00	7.50	29.61%
		10.00		
		7.50		
Decantador E-05	ECA-04	8.50	8.17	31.82%
		5.50		
		10.50		
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	9.00	11.33	44.74%
		12.00		
		13.00		
Reactores	ECA-06	12.00	8.33	26.60%
		4.00		
		9.00		
Cloro Liquido	ECA-07	7.50	9.17	36.18%
		10.50		
		9.50		
Gris DP.03	ECA-08	14.50	12.50	61.48%
		12.00		
		11.00		
Roca Fosfórica	ECA-09	9.50	9.33	35.44%
		8.50		
		10.00		
Precipitador DP.08.05	ECA-10	8.50	8.83	43.44%
		9.50		
		8.50		

En la Figura 61 se muestra gráficamente los resultados de la penetración del frente carbonatado versus la sumatoria de las condiciones globales (extensión, gravedad y evolución) teniendo en cuenta el total de la calificación realizada en la Tabla 27 para las vigas. Se puede observar que el frente carbonatado tiene un comportamiento que sigue la calificación realizada en la inspección visual a las columnas de edificios de concreto armado en las plantas industriales. Asimismo, para una calificación máxima de grado 8, corresponde un espesor de carbonatación de 12.50 mm presentada en el edificio ECA 08. Por el contrario, para la calificación mínima que se observa para el ECA 01 de grado 4 corresponde un frente carbonatado de 6.08 mm.

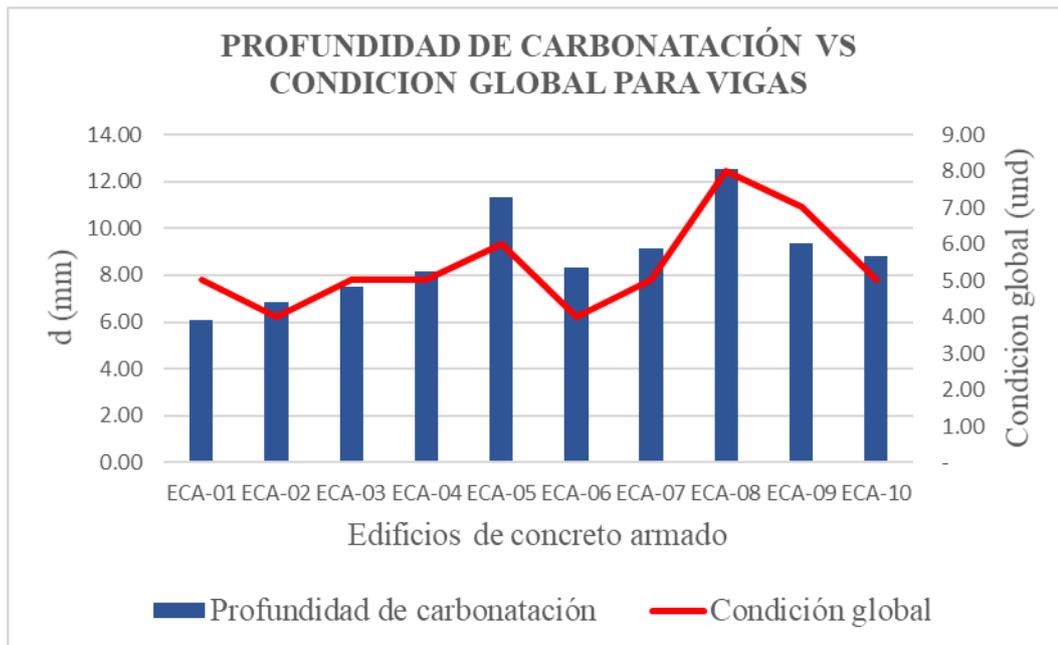


Figura 61: Resultado del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína VS Condición Global en Vigas. Fuente propia.

En la Figura 62, se visualiza la rotulación y el registro de la prueba de carbonatación de edificio decantador E-05 (ECA-04).



Figura 62: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Decantador E-05 (ECA-04): (a) ECA 04_C1, (b) ECA 04_C2 y (c) ECA 04_C3. Fuente propia

7.3.Resultados de la evaluación de la calidad del acero.

Se realizó la evaluación de la calidad del acero, tomando como referencia el recubrimiento y diámetro del acero, así como la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo, evaluada mediante el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo.

Tal como lo estipulado en la ASTM C876-09 si el potencial de corrosión se encuentra por debajo de -0.35 V existe una mayor probabilidad de que exista corrosión (>90%), además si se encuentra por encima de -0.20V la probabilidad de corrosión es mínima (<10%). Es decir:

- >-200mV Probabilidad de corrosión <10%
- -200mV a 350 Mv Región de incertidumbre
- <-350mv Probabilidad de corrosión >90%

En la Tabla 32 se muestra los resultados sobre el espesor de recubrimiento, diámetro del acero, y potencial eléctrico practicado a los elementos estructurales columnas que conforman los diez edificios en estudio. Los resultados detallados por cada edificio se adjuntan en el anexo 04.

En la Tabla 32 se puede observar que existe una correlación entre el incremento de potencial de corrosión y el incremento del diámetro del acero de refuerzo. Esto puede suceder por el crecimiento del producto de corrosión a través del mayor diámetro. Por otro lado, para el espesor de recubrimiento cuanto menor es el recubrimiento es mayor el potencial de corrosión. Por el contrario, cuando el espesor de recubrimiento aumento el potencial de corrosión disminuye. Esto es probable porque a mayor recubrimiento existe mayor protección del acero de refuerzo de los agentes corrosivos.

Tabla 32: Resultado de la evaluación de la calidad del acero en Columnas. Fuente propia

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL ACERO EN COLUMNAS.				
EDIFICIO	CODIGO DE EDIFICIO	ESPESOR DE RECUBRIMIENTO	DIAMETRO DE ACERO	POTENCIAL ELECTRICO (mV)
Decantador E01	ECA-01	22.67	16.33	-312.84
Decantador E-02	ECA-02	20.67	17.10	-434.29
Decantador E-04	ECA-03	28.33	15.17	-221.01
Decantador E-05	ECA-04	31.67	15.75	-240.56
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	25.33	15.73	-290.96
Reactores	ECA-06	20.33	17.47	-445.32

Cloro Liquido	ECA-07	30.33	15.46	-207.44
Gris DP.03	ECA-08	20.00	16.75	-410.81
Roca Fosfórica	ECA-09	32.67	15.50	-190.48
Precipitador DP.08.05	ECA-10	37.67	15.83	-152.16

En la Figura 63 se presenta la probabilidad de corrosión de la barra de acero de refuerzo en las columnas. En la gráfica se puede observar que los edificios ECA-02, ECA-06 y ECA-08 que el resultado del diferencial del potencial eléctrico es menor a los -350mV , lo que significa que su probabilidad de corrosión de la barra del acero de refuerzo es mayor al 90%. Por el contrario, la columna de los edificios ECA-09 y ECA-10 resultan con un diferencial de potencial eléctrico mayor a -200mV por lo que su probabilidad de corrosión es menor al 10%.

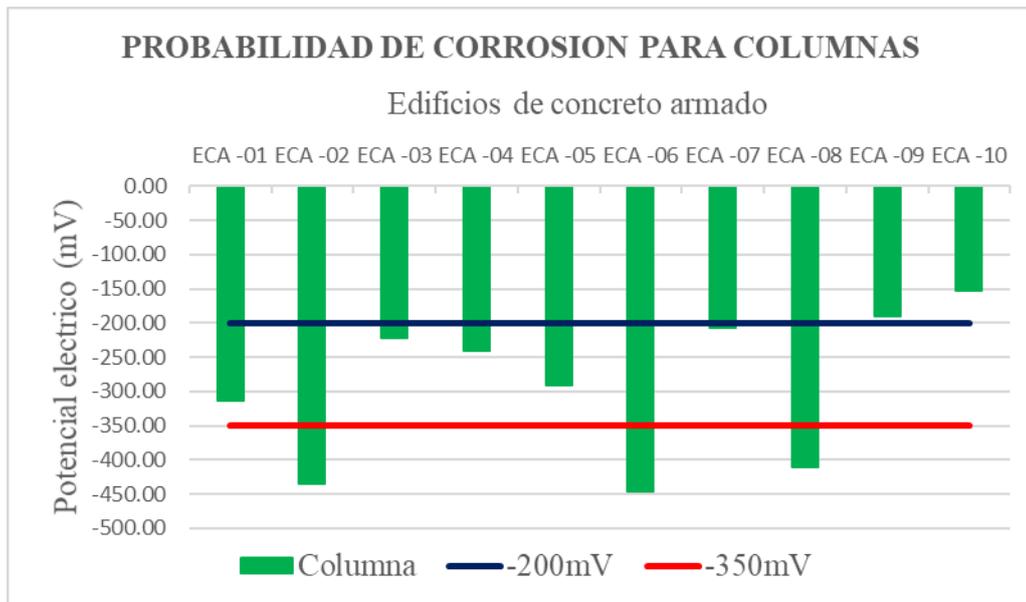


Figura 63: Probabilidad de corrosión para columnas. Fuente propia

En la Figura 64, se muestra el registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo para el edificio Hornos de ácido clorhídrico (ECA-05). En esta imagen se puede visualizar la rotulación y la toma del ensayo, lo cual se ha realizado para los diez edificios.



Figura 64: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Hornos de ácido clorhídrico (ECA 05): (a) ECA 05_P1, (b) ECA 05_P2 y (c) ECA 05_P3. Fuente propia

Finalmente, para evaluar la calidad del concreto armado en los edificios se ha confeccionado la Figura 65 con todos los resultados de evaluación tanto para el concreto y el acero, donde observa lo siguiente:

- Los elementos estructurales con menor recubrimiento (20 mm a 22.67 mm) presentan mayor frente carbonatado y potencial de corrosión, debido a la poca protección conferida al acero de refuerzo.
- A menor resistencia a compresión el espesor de carbonatación es mayor. Se estima que cuando la resistencia a compresión disminuye en 9% la carbonatación incrementa en 11%.
- A menor resistencia a compresión el potencial de corrosión incrementa.
- Existe una relación directa entre el frente carbonatado el potencial de corrosión.
- A mayor diámetro de la barra del acero de refuerzo hay un incremento en el potencial de corrosión.

Por lo tanto, se puede indicar que, a menor recubrimiento, menor resistencia de concreto, y mayor diámetro de acero de refuerzo que existe un incremento en la penetración del frente carbonatado y juntamente con ello el aumento del potencial de corrosión.

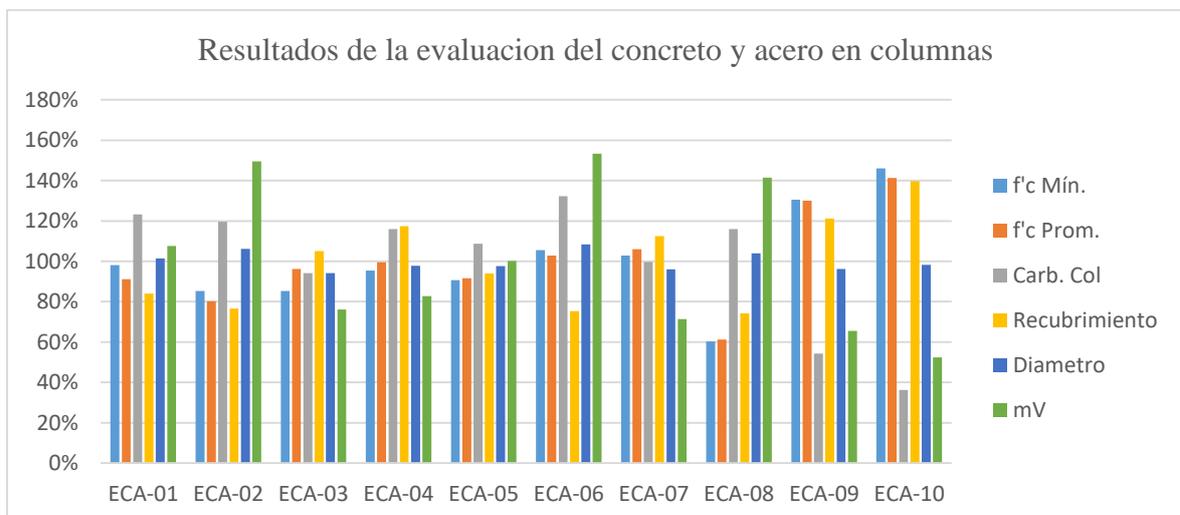


Figura 65 Resultados de la evaluación del concreto y acero de refuerzo en columnas. Fuente propia

En la Tabla 33 se presenta los resultados sobre el espesor de recubrimiento, diámetro del acero, y potenciales eléctricos practicado a los elementos estructurales vigas de los diez edificios. Los resultados por cada edificio se presentan en el anexo 04.

Del resultado de la evaluación de la calidad del acero se puede evidenciar que a menor sea el espesor de recubrimiento (e) existe mayor probabilidad de corrosión, por ejemplo, para el edificio ECA-08 para e igual a 20.33mm el potencial eléctrico es -478.76mv, por el contrario, para e igual a 37.67mm corresponde -136.71mv. Asimismo, se evidencia que a mayor diámetro del acero de refuerzo se tiene mayor probabilidad de corrosión, esto es debido a que el incremento del diámetro de acero es evidencia de que existe indicios del inicio de la corrosión. Por lo tanto, se puede evidenciar que si el elemento estructural que tiene menor recubrimiento con mayor diámetro de acero de refuerzo hay mayor probabilidad que se desencadene la corrosión para el elemento estructural

Tabla 33: Resultado de la evaluación de la calidad del acero en Vigas. Fuente propia

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL ACERO EN VIGAS.				
EDIFICIO	CODIGO DE EDIFICIO	ESPESOR DE RECUBRIMIENTO	DIAMETRO DE ACERO	POTENCIAL ELECTRICO (mV)
Decantador E01	ECA-01	32.33	15.88	-204.27
Decantador E-02	ECA-02	37.67	15.88	-136.71
Decantador E-04	ECA-03	25.33	15.46	-248.87
Decantador E-05	ECA-04	25.67	15.75	-213.27
Hornos de Ácido Clorhídrico	ECA-05	25.33	15.53	-306.81
Reactores	ECA-06	31.33	15.88	-174.71
Cloro Liquido	ECA-07	25.33	15.75	-311.46
Gris DP.03	ECA-08	20.33	17.58	-478.76
Roca Fosfórica	ECA-09	20.17	17.27	-355.17
Precipitador DP.08.05	ECA-10	20.33	15.88	-362.32

En la Tabla 32 y Tabla 33 se observa que el espesor de los recubrimientos no cumple con el recubrimiento mínimo de 40 mm establecido por la NTP E.060, estos resultados pueden dar indicios que en el proceso constructivo no se realizó un control de calidad adecuado para asegurar el espesor mínimo establecidos por la Norma. Lo cual puede ser un indicador que las edificaciones podrían resultar con una menor vida útil residual que el esperado según el diseño realizado.

En la Figura 66 se muestra la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo en las vigas. Donde se puede observar que los edificios ECA-08, ECA-09 y ECA-10 presentan el diferencial del potencial eléctrico menor a los -350mV, lo que significa que su probabilidad de corrosión es mayor al 90%. Por el contrario, las vigas de los edificios ECA-02 y ECA-06 resultan con un diferencial de potencial eléctrico mayor a -200mV por lo que su probabilidad de corrosión es menor al 10%.

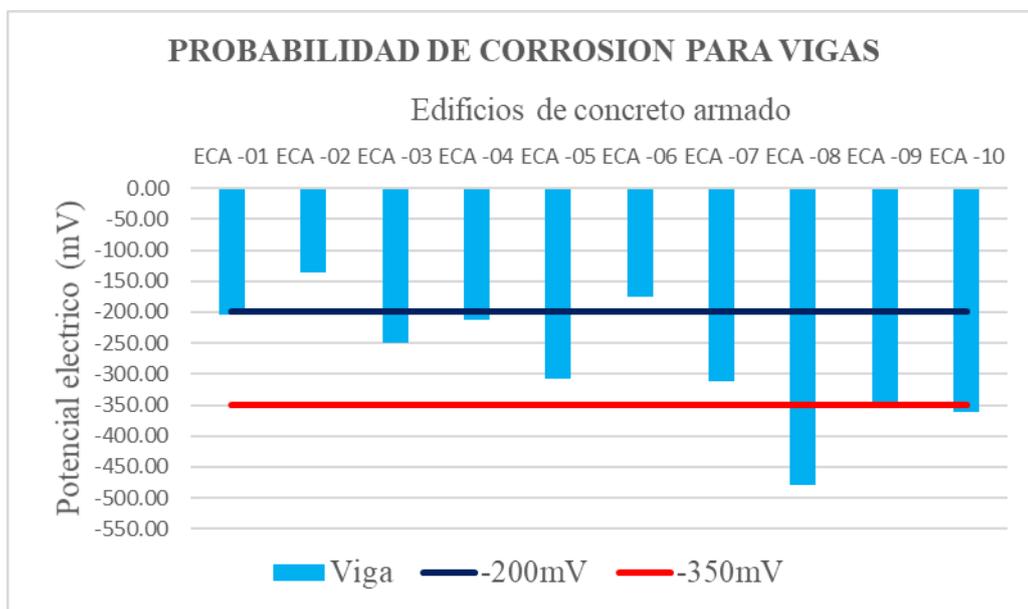


Figura 66: Probabilidad de corrosión para Vigas. Fuente propia

En la Figura 67 se presenta el avance del frente carbonato para lo cual se ha comparado el recubrimiento vs la carbonatación presentada en la Tabla 31 para las vigas. Además, en la gráfica se incluye la condición global encontrada en los edificios de concreto armado. En esta grafica se puede observar que el comportamiento de porcentaje de carbonatación se refleja con las condiciones encontradas en campo para cada edificio. En esta grafica se puede observar que el edificio ECA-08 tienen un frente carbonatado mayor al 50% de su recubrimiento. Por el contrario, los edificios ECA-01 y ECA-02 tiene un avance menor al 20%.

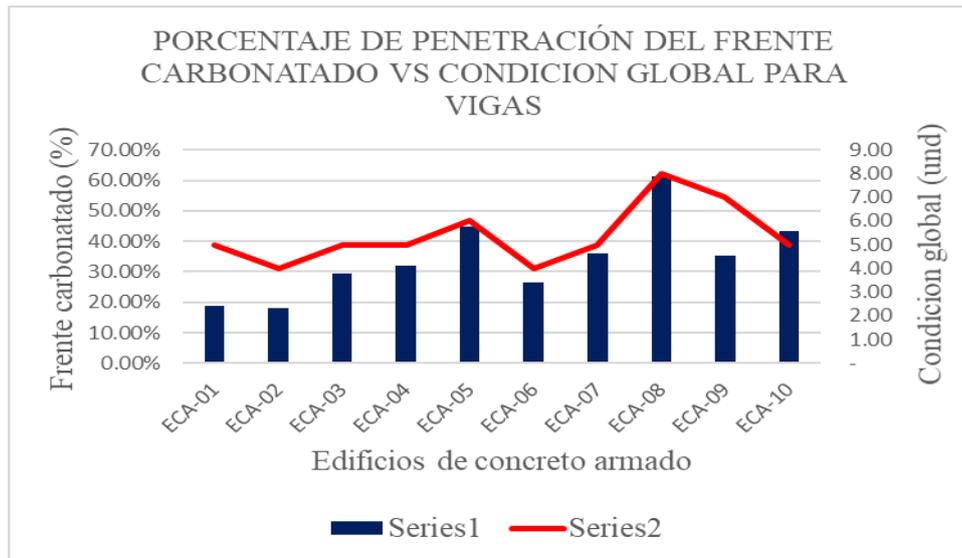


Figura 67: Porcentaje de carbonatación para vigas. Fuente propia

Finalmente, para evaluar la calidad del concreto armado en los edificios se ha confeccionado la Figura 68 con todos los resultados de evaluación tanto para el concreto y el acero, donde observa lo siguiente:

- Los elementos estructurales con menor recubrimiento (20.17 mm a 20.33 mm) presentan mayor frente carbonatado y potencial de corrosión, debido a la poca protección conferida al acero de refuerzo.
- A menor resistencia a compresión el espesor de carbonatación es mayor. Se estima que cuando la resistencia a compresión disminuye en 8% la carbonatación incrementa en 5%.
- A menor resistencia a compresión el potencial de corrosión incrementa. Se estima que cuando la resistencia decrece en 8% el potencial incrementa en 14%.
- Existe una relación directa entre el frente carbonatado el potencial de corrosión. Cuando el frente carbonatado incrementa en 5% el potencial de corrosión incrementa en 14%.
- A mayor diámetro del acero de refuerzo hay un incremento en el potencial de corrosión. Cuando el diámetro del acero incremento en 1% el potencial de corrosión incrementa en 14%.

Por lo tanto, se puede indicar que, a menor recubrimiento, menor resistencia de concreto y mayor diámetro de la barra de acero, puede existir mayor frente carbonatado y mayor potencial de corrosión

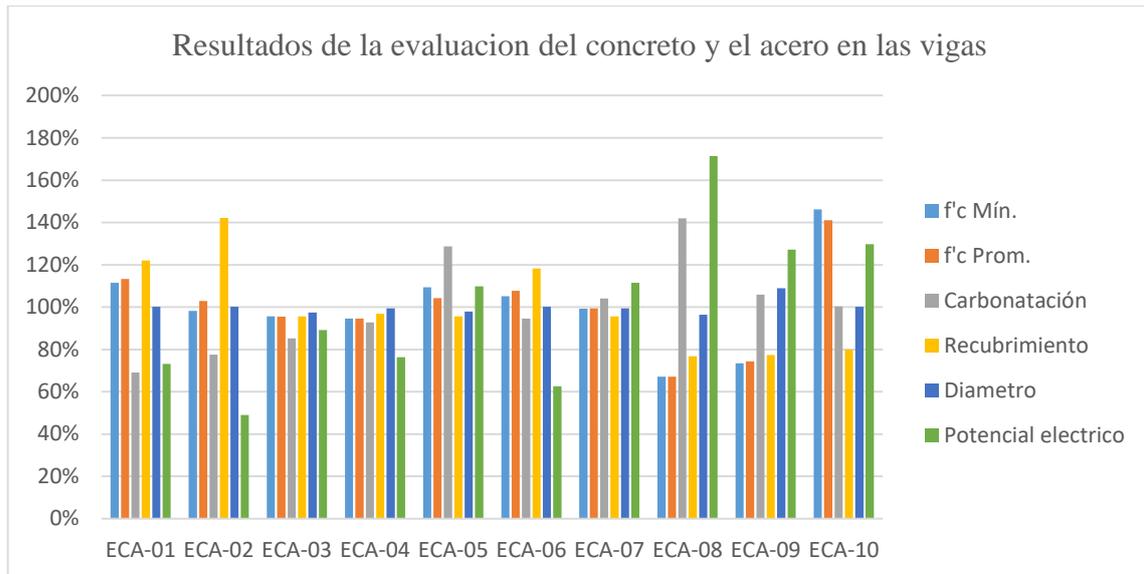


Figura 68: Resultados de la evaluación del concreto y acero de refuerzo en vigas. Fuente propia.

7.4. Estimación de la vida útil residual de los edificios en las plantas industriales.

La estimación de la vida útil residual de los edificios de concreto armado en plantas industriales se ha realizado en concordancia con las pautas explicadas en el apartado 3.2.6, página 19.

En cuanto a la estimación del periodo de iniciación por el modelo de la carbonatación se utilizó la Ecuación 6, para lo cual se definió las variables para determinar el coeficiente de carbonatación (K_c) de acuerdo a la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, para cada variable de la Ecuación 7, los datos seleccionados de las variables se muestra en la Tabla 34. Es importante mencionar que los coeficientes y parámetros presentados en la Tabla 34 son constantes para todos los elementos estructurales para los diez ECA en estudio, por encontrarse en el mismo entorno ambiental y por ser construcciones de la misma época construidos mediante procesos constructivos similares y con los mismos materiales predominantes.

Tabla 34: Resultados de los coeficientes de ambiente, aireantes y parámetro de conglomerante. Fuente Propia.

Descripción	Coficiente
Coeficiente de ambiente (C_{env})	0.5
Coeficiente de aireantes (C_{air})	0.7
Parámetros de conglomerante (a)	1800
Parámetros de conglomerante (b)	-1.7

Por otra parte, la resistencia promedio de concreto (f_{cm}) se tomará en cuenta las tablas presentadas en la sección 7.2.1, para las columnas la Tabla 28 y para las vigas Tabla 29. De la misma manera para la variable d (profundidad de carbonatación) se tomará en cuenta los resultados explicados en la sección 7.2.2, para las columnas se considerará la Tabla 30 y para las vigas la Tabla 31.

A continuación, se muestra la tabla con los cálculos realizados para la estimación del periodo de iniciación para los diez edificios. En la Tabla 35 se muestran los resultados para las columnas y en la Tabla 36 para las vigas.

De los resultados obtenidos para las columnas se observa, lo siguiente:

- El periodo de iniciación de los edificios se encuentra entre 1.38 a 4.39 años para los edificios ECA-08 y ECA-10 respectivamente.
- A medida que la resistencia a compresión promedio del concreto incremento en 9% y el periodo de iniciación aumento en 13%.
- La relación entre la carbonatación y el periodo de iniciación es indirecta porque mayor sea el frente carbonatado menor es el tiempo en que se desencadenara la corrosión.
- A mayor recubrimiento la estimación del periodo de iniciación incrementa. Para recubrimientos mayores a 30mm se tiene periodo de iniciación mayor a 2.5 años.

De los resultados obtenidos para las vigas se observa lo siguiente:

- El periodo de iniciación (t_i) para las vigas se encuentra entre 1.30 años a 3.24 para los edificios ECA-08 y ECA-01 respectivamente.
- Para un incremento de resistencia a compresión promedio en 8% es probable que el periodo de iniciación incremente en 13%.
- A mayor avance del frente carbonatado disminuye el periodo de iniciación.
- El incremento de recubrimiento del concreto en 3% es un indicador para el incremento del periodo de iniciación en 18%.

Tabla 35: Calculo del periodo de iniciación para columnas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente Propia

PERIODO DE INICIACION PARA COLUMNAS											
Código de edificio	Resistencia promedio del concreto (f_{ck}). (N/mm ²) (1)	Resistencia media del concreto (f_{cm}). (N/mm ²) (2)=(1)+8	Coficiente de ambiente (C_{env}) (3)	Coficiente de aire ocluido (C_{air}) (4)	Parámetro de conglomerante (a) (5)	Parámetro de conglomerante (b) (6)	Coficiente de carbonatación (K_c) (7) = (3)x(4)x(5)x(2)^(6)	Esesor de recubrimiento (e) – (mm) (8)	Profundidad de Carbonatación (d) – (mm) (9)	E. recubrimiento efectiva (e_{ef}) – (mm) (10)=(8)-(9)	Periodo de iniciación (t_i) –años (11)=(10)/(7)^(1/2)
ECA-01	19.93	27.93	0.5	0.7	1800	-1.7	3.13	22.67	11.33	11.33	1.90
ECA-02	17.53	25.53	0.5	0.7	1800	-1.7	3.65	20.67	11.00	9.67	1.63
ECA-03	21.03	29.03	0.5	0.7	1800	-1.7	2.93	28.33	8.67	19.67	2.59
ECA-04	21.77	29.77	0.5	0.7	1800	-1.7	2.81	31.67	10.67	21.00	2.73
ECA-05	20.03	28.03	0.5	0.7	1800	-1.7	3.11	25.33	10.00	15.33	2.22
ECA-06	22.50	30.50	0.5	0.7	1800	-1.7	2.70	20.33	12.17	8.17	1.74
ECA-07	23.20	31.20	0.5	0.7	1800	-1.7	2.60	30.33	9.17	21.17	2.86
ECA-08	13.40	21.40	0.5	0.7	1800	-1.7	4.93	20.00	10.67	9.33	1.38
ECA-09	28.43	36.43	0.5	0.7	1800	-1.7	1.99	32.67	5.00	27.67	3.73
ECA-10	30.90	38.90	0.5	0.7	1800	-1.7	1.78	37.67	3.33	34.33	4.39

Tabla 36: Calculo del periodo de iniciación para vigas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente Propia

PERIODO DE INICIACION PARA VIGAS											
Código de edificio	Resistencia promedio del concreto (f_{ck}). (N/mm ²) (1)	Resistencia media del concreto (f_{cm}). (N/mm ²) (2)=(1)+8	Coefficiente de ambiente (C_{env}) (3)	Coefficiente de aire ocluido (C_{air}) (4)	Parámetro de conglomerante (a) (5)	Parámetro de conglomerante (b) (6)	Coefficiente de carbonatación (K_c) (7) = (3)x(4)x(5)x(2)^(6)	Esesor de recubrimiento (e) – (mm) (8)	Profundidad de Carbonatación (d) – (mm) (9)	E. recubrimiento efectiva (e_{ef}) – (mm) (10)=(8)-(9)	Periodo de iniciación (t_i) –años (11)=(10)/(7)^(1/2)
ECA-01	23.93	31.93	0.5	0.7	1800	-1.7	2.49	32.33	6.08	26.25	3.24
ECA-02	21.73	29.73	0.5	0.7	1800	-1.7	2.82	37.67	6.83	30.83	3.31
ECA-03	20.17	28.17	0.5	0.7	1800	-1.7	3.09	25.33	7.50	17.83	2.40
ECA-04	19.97	27.97	0.5	0.7	1800	-1.7	3.13	25.67	8.17	17.50	2.37
ECA-05	22.03	30.03	0.5	0.7	1800	-1.7	2.77	25.33	11.33	14.00	2.25
ECA-06	22.77	30.77	0.5	0.7	1800	-1.7	2.66	31.33	8.33	23.00	2.94
ECA-07	21.00	29.00	0.5	0.7	1800	-1.7	2.94	25.33	9.17	16.17	2.35
ECA-08	14.17	22.17	0.5	0.7	1800	-1.7	4.64	20.33	12.50	7.83	1.30
ECA-09	15.70	23.70	0.5	0.7	1800	-1.7	4.14	20.50	9.33	11.17	1.64
ECA-10	29.80	37.80	0.5	0.7	1800	-1.7	1.87	20.33	8.83	11.50	2.48

A continuación, se procede a estimar el periodo de propagación(t_p) de acuerdo a la Ecuación 9, explicado en el apartado 3.2.6.2, página 21. Para lo cual se determinará la variable de la velocidad de corrosión (V_{corr}) según la Tabla 7. Así mismo para el espesor de recubrimiento (e) y el diámetro del acero de refuerzo (ϕ) se tomará en cuenta la Tabla 32 para las columnas y la Tabla 33 para las vigas, desarrollado en la sección 7.3, página 75. En concordancia con los parámetros obtenidos se procede a determinar el periodo de propagación para cada elemento estructura. En la Tabla 37 se muestra el resultado obtenido para las columnas y en la Tabla 38 para las vigas.

Se puede observar que el periodo de propagación para las columnas, se encuentra en el rango de 4.78 a 9.52 años para los edificios ECA-08 y ECA-10 respectivamente. Asimismo, que cuanto mayor sea el recubrimiento el periodo de propagación aumenta. Por el contrario, a mayor diámetro del acero de refuerzo el periodo de propagación decrece.

Tabla 37: Calculo del periodo de propagación para columnas de las ECA en plantas industriales. Fuente propia

PERIODO DE PROPAGACION PARA COLUMNAS				
Código de edificio	Espesor de recubrimiento (e) – (mm) (12)	Diámetro de acero (ϕ) (13)	Velocidad de corrosión (V_{corr}) (14)	Periodo de propagación (t_p) – años (15) = $(80/(13)) \times ((12)/(14))$
ECA-01	22.67	16.33	20.00	5.55
ECA-02	20.67	17.10	20.00	4.83
ECA-03	28.33	15.17	20.00	7.47
ECA-04	31.67	15.75	20.00	8.04
ECA-05	25.33	15.73	20.00	6.44
ECA-06	20.33	17.47	20.00	4.66
ECA-07	30.33	15.46	20.00	7.85
ECA-08	20.00	16.75	20.00	4.78
ECA-09	32.67	15.50	20.00	8.43
ECA-10	37.67	15.83	20.00	9.52

Se observa que el periodo de propagación para las vigas, se encuentra en el rango de 4.75 a 9.49 años para los edificios ECA-08 y ECA-02 respectivamente. Asimismo, que cuanto mayor sea el recubrimiento el periodo de propagación aumenta. Por el contrario, a mayor diámetro del acero de refuerzo el periodo de propagación decrece.

Tabla 38: Calculo del periodo de propagación para vigas de las ECA en plantas industriales. Fuente propia

PERIODO DE PROPAGACION PARA VIGAS				
Código de edificio	Espesor de recubrimiento (e) – (mm) (12)	Diámetro de acero (ϕ) (13)	Velocidad de corrosión (V_{corr}) (14)	Periodo de propagación (t_p) –años (15) = $(80/(13)) \times ((12)/(14))$
ECA-01	32.33	15.88	20.00	8.14
ECA-02	37.67	15.88	20.00	9.49
ECA-03	25.33	15.46	20.00	6.55
ECA-04	25.67	15.75	20.00	6.52
ECA-05	25.33	15.53	20.00	6.53
ECA-06	31.33	15.88	20.00	7.89
ECA-07	25.33	15.75	20.00	6.43
ECA-08	20.33	17.58	20.00	5.32
ECA-09	20.50	17.27	20.00	4.75
ECA-10	20.33	15.88	20.00	5.12

En última instancia se procede a estimar la vida útil residual de los edificios de concreto armado en las plantas industriales haciendo uso de la Ecuación 10 desarrollada en la sección 3.3.9, página 23 y siguiendo el procedimiento detallado en la sección 7.4, página 81. Para este procedimiento se tomará en cuenta los datos obtenidos en la Tabla 35 y Tabla 37 para las columnas obteniendo como resultado final la Tabla 39, así como la Tabla 36 y Tabla 38 para las vigas obteniendo como resultado final la Tabla 40.

Se observa que la estimación de la vida útil residual para las columnas, se encuentran entre 6.15 y 13.91 años para los edificios ECA-08 y ECA-10. Asimismo, se puede observar que

los edificios que tienen una vida útil residual mayor a 10 años son ECA-03, ECA-04, ECA-07, ECA-09 y ECA-10.

Tabla 39: Estimación de la vida útil residual para las columnas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia

ESTIMACION DE LA VIDA UTIL RESIDUAL PARA COLUMNA			
Código de edificio	Periodo de iniciación (t_i) – años (11)	Periodo de propagación (t_p) – años (15)	Vida útil residual (t_i) – anos (16) = (11)+(15)
ECA-01	1.90	5.55	7.45
ECA-02	1.63	4.83	6.46
ECA-03	2.59	7.47	10.06
ECA-04	2.73	8.04	10.77
ECA-05	2.22	6.44	8.66
ECA-06	1.74	4.66	6.40
ECA-07	2.86	7.85	10.70
ECA-08	1.38	4.78	6.15
ECA-09	3.73	8.43	12.16
ECA-10	4.39	9.52	13.91

En la Tabla 40. se presenta la estimación de la vida útil residual para las Vigas. De los resultados obtenidos se observa que la vida útil residual se encuentra entre 5.92 y 12.80 años para los edificios ECA-08 y ECA-02. Asimismo, se observa que los edificios que tienen una vida útil residual mayor a 10 años son ECA-01, ECA-02, ECA-06.

Tabla 40: Estimación de la vida útil residual para las vigas de los edificios de concreto armado en plantas industriales. Fuente propia.

ESTIMACION DE LA VIDA UTIL RESIDUAL PARA VIGA			
Código de edificio	Periodo de iniciación (t _i) – años (11)	Periodo de propagación (t _p) – años (15)	Vida útil residual (t _j) – años (16) = (11)+(15)
ECA-01	3.24	8.14	11.39
ECA-02	3.31	9.49	12.80
ECA-03	2.40	6.55	8.96
ECA-04	2.37	6.52	8.88
ECA-05	2.25	6.53	8.77
ECA-06	2.94	7.89	10.83
ECA-07	2.35	6.43	8.78
ECA-08	1.30	4.63	5.92
ECA-09	1.64	4.75	6.39
ECA-10	2.48	5.12	7.60

En la Figura 69 se presenta la vida útil residual para las columnas de los edificios de concreto armado versus la evaluación de la calidad del concreto armado. Se observa que cuando la resistencia a compresión promedio y el recubrimiento del concreto aumenta, la vida útil residual del edificio de concreto armado se incrementa. Por el contrario, a medida que aumenta la carbonatación y el diámetro del acero de refuerzo disminuye la vida útil residual. Además, cuando la calificación de la condición global disminuye la vida útil residual se incrementa.

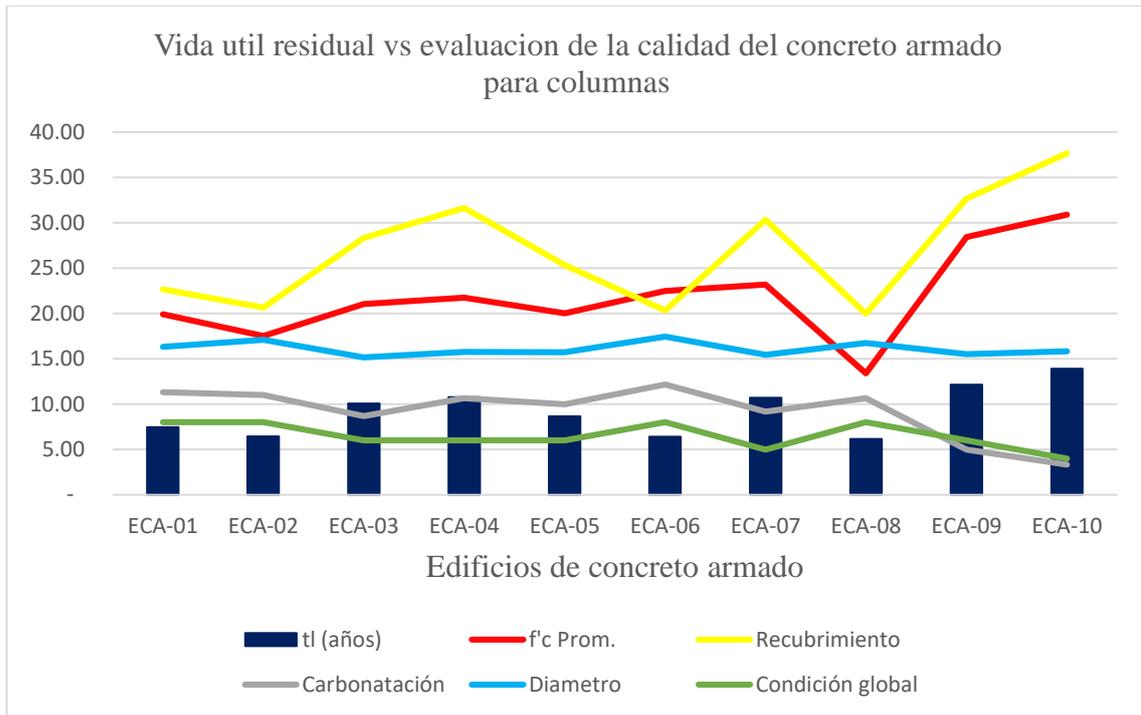


Figura 69: Vida útil residual vs evaluación de la calidad del concreto armado para columnas. Fuente propia

En la Figura 70 se presenta la vida útil residual para las vigas de los edificios de concreto armado versus la evaluación de la calidad del concreto armado. Se observa que la resistencia a compresión promedio y recubrimiento del concreto aumenta y la vida útil residual del edificio de concreto armado se incrementa. Por el contrario, a medida que aumenta la carbonatación y el diámetro disminuye la vida útil residual. Además, cuando la calificación de la condición global disminuye la vida útil residual se incrementa.

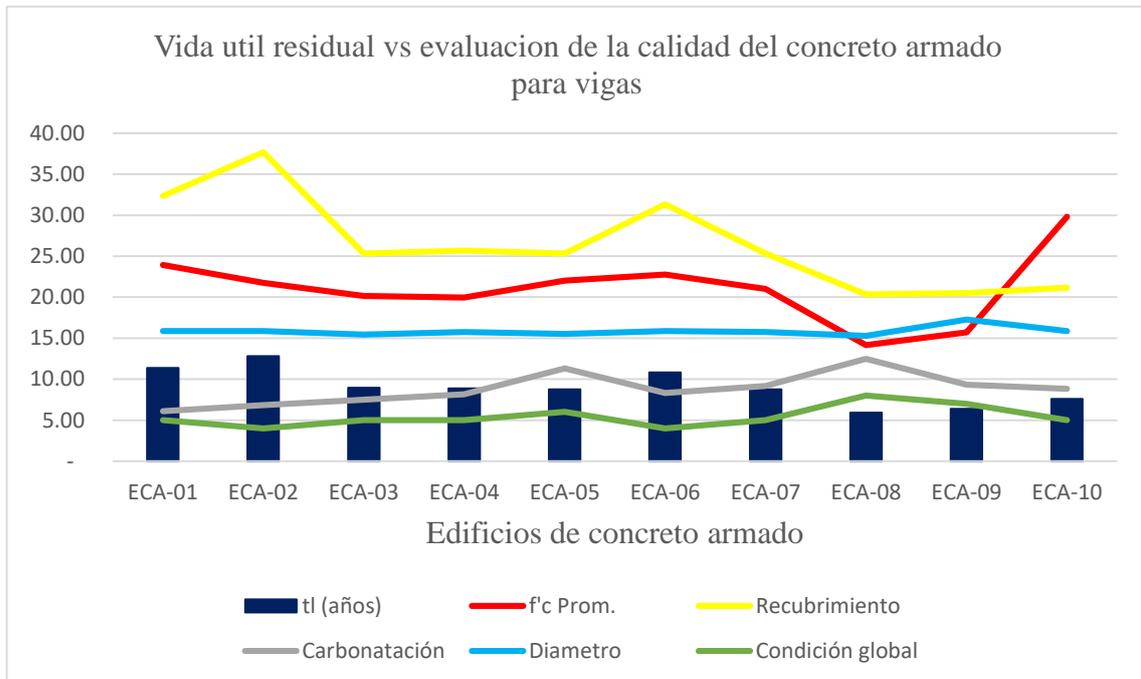


Figura 70: Vida útil residual vs evaluación de la calidad del concreto armado para columnas. Fuente propia

7.5.Comparación entre la vida útil residual y el ensayo de potencial de semiceldas.

Se evaluó la vida útil residual, que ha sido estimado en la sección anterior versus los resultados del ensayo del potencial de semiceldas de refuerzo que representa la probabilidad que tiene el acero de refuerzo de comenzar la corrosión, que fue presentada en la sección 7.3 - página 75, de los edificios de concreto armado en la planta industrial Oquendo 01.

En la Figura 71 se muestra la comparación entre la vida útil residual vs el potencial de corrosión para las columnas, donde se obtiene como resultado la curva de dispersión una función polinómica de segundo grado $9 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.0798x + 23.857$ con una confiabilidad de $R^2 = 0.9736$, siendo x el resultado del ensayo de potencial de semiceldas en valor absoluto. En esta grafica se observa que a partir de -400mV de diferencial de potencial la tendencia es lineal con una vida útil residual de 6 años aproximadamente. Además, cuando el diferencial de potencial tienda a cero, donde según el ensayo se tiene una probabilidad de corrosión menor al 10%, la estructura tendría una vida útil residual de 23.9 años, también se podría decir que una estructura nueva en condiciones similares tendría esta vida útil residual similar al indicado.

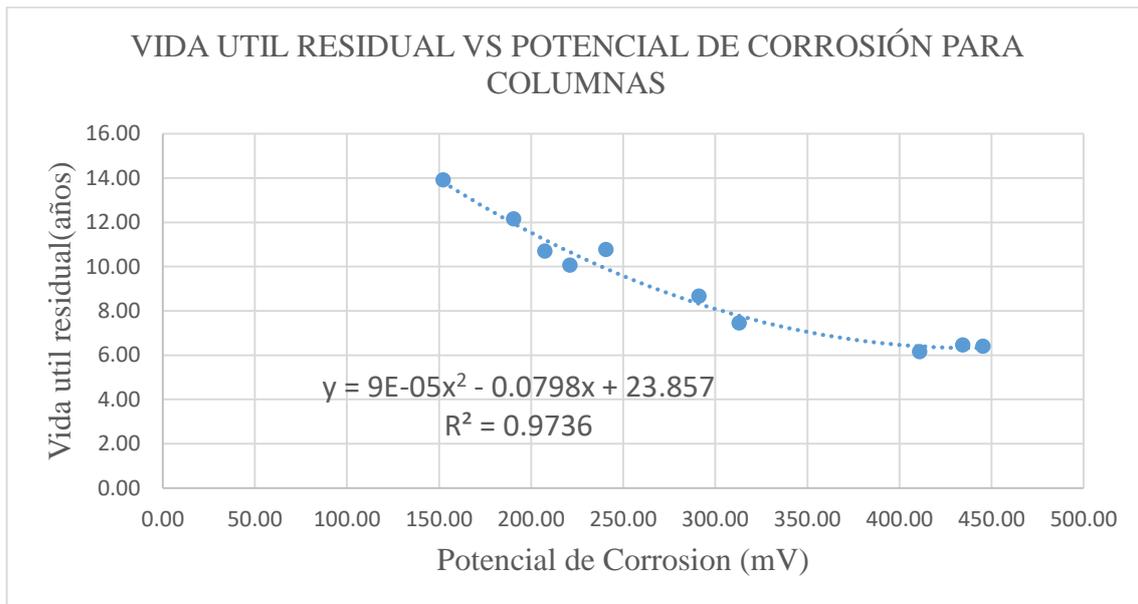


Figura 71: Relación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión para columnas. Fuente propia.

Por otro lado, la comparación realizada para las vigas que se muestra en la Figura 72 se tiene la curva de dispersión como una función polinómica de segundo grado $4 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.0405x + 17.24$ con una confiabilidad de $R^2 = 0.8781$, donde x es el resultado del ensayo de potencial de semiceldas en valor absoluto. En esta grafica se puede observar que a partir de 450mV de diferencial de potencial la tendencia es a una disminución mínima de años y que se encuentra alrededor de 6 años. Además de esta ecuación muestra que cuando el diferencial tienda a cero, donde según el ensayo se tiene una probabilidad de corrosión menor al 10%, la estructura tendría una vida útil residual de 17.2 años, también se podría decir que una estructura nueva en condiciones similares tendría esta vida útil residual.

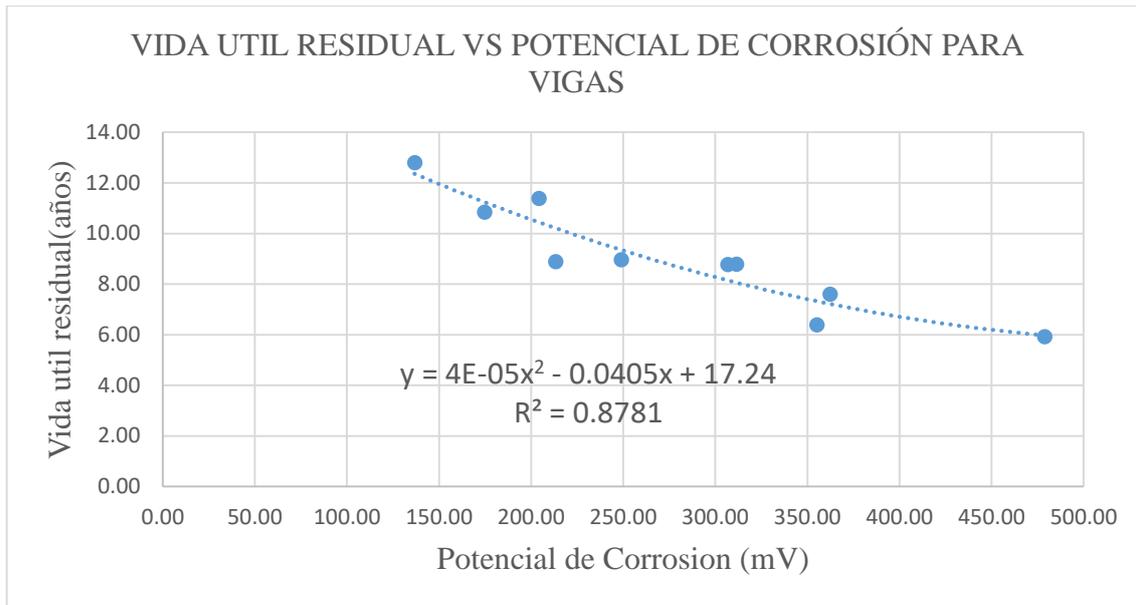


Figura 72: Relación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión en vigas. Fuente propia.

Finalmente, se integraron los resultados de la comparación de la vida útil residual vs el potencial de corrosión para las columnas y las vigas, lo cual se presenta en la Figura 73. La curva de dispersión se representa como una función polinómica de segundo grado $5 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.0529x + 19.514$ con una confiabilidad de $R^2 = 0.9013$, donde x es el resultado del ensayo de potencial de semiceldas en valor absoluto.

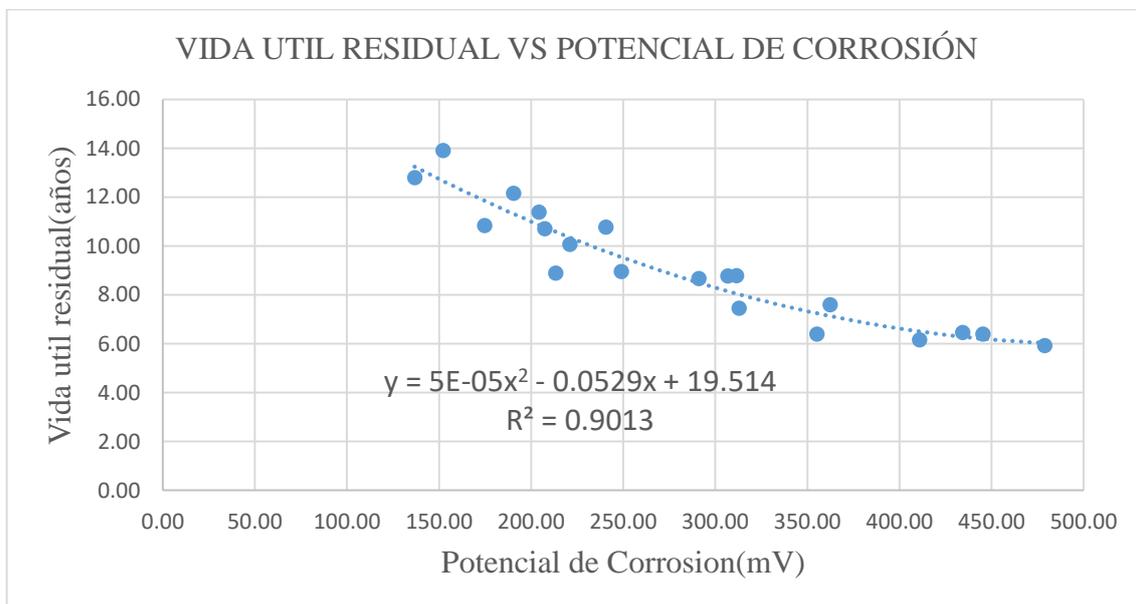


Figura 73: Relación entre la vida útil residual y el potencial de corrosión. Fuente propia

Para un mejor entendimiento y facilitar la lectura de la estimación de la vida útil residual de una edificación de concreto armado en una planta industrial a continuación se presenta la Tabla 41. En esta tabla se puede observar que a medida que disminuye el diferencial de potencial eléctrico disminuye la vida útil residual. En un inicio el cambio decreciente de 0 a -100 mV disminuye en un año aproximadamente. Por otra parte, a partir de -400 a -500 mV disminuye en 0.25 años en promedio. Además, como se observó en las gráficas de la vida

útil residual para resultados menores a -500mV es menor 0.078 años por lo que se puede considerar que el cambio de la vida útil residual es lineal.

Tabla 41: Propuesta de tabla de correlación para estimar la vida útil residual. Fuente propia.

TABLA PARA ESTIMAR LA VIDA UTIL RESIDUAL		
Potencial eléctrico (mV)	Vida útil residual (años)	Decreciente
0	19.514	0.000
-20	18.476	-1.038
-40	17.478	-0.998
-60	16.520	-0.958
-80	15.602	-0.918
-100	14.724	-0.878
-120	13.886	-0.838
-140	13.088	-0.798
-160	12.330	-0.758
-180	11.612	-0.718
-200	10.934	-0.678
-220	10.296	-0.638
-240	9.698	-0.598
-260	9.140	-0.558
-280	8.622	-0.518
-300	8.144	-0.478
-320	7.706	-0.438
-340	7.308	-0.398
-360	6.950	-0.358
-380	6.632	-0.318

-400	6.354	-0.278
-420	6.116	-0.238
-440	5.918	-0.198
-460	5.760	-0.158
-480	5.642	-0.118
-500	5.560	-0.078
<-500	5.500	

Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

De los resultados e interpretaciones de resultados obtenidas en la presente investigación, se presenta a continuación las conclusiones por objetivos establecidos:

8.1.1. Identificación y mapeo de las ECA en plantas industriales.

Los elementos principales estructurales columnas y vigas evaluados en todos los edificios están afectados por diferentes daños y patologías que se describen en la presente sección.

- Se identificó cuatro patologías principales en los edificios que conforman la planta industrial Oquendo 1 de Quimpac, tales como: delaminación del concreto, reparación deficiente, corrosión expuesta, y fisuramiento.
- Los principales elementos estructurales columna, viga, y losa, se encuentran con daños severos, de 90.34% en columnas, 87.79% en vigas y 77.81% en losas de sus áreas superficiales. El edificio con mayor daño en los tres elementos estructurales principales es el ECA-08 (80.29%) seguido por ECA-09 (51.13%).
- A partir del diagrama de Pareto para cada edificación, se demostró que los daños más incidentes son la delaminación del concreto y la reparación deficiente. Asimismo, en los diez edificios se evidencia las patologías: delaminación del concreto 63.06%, seguido por reparación deficiente 29.15%, corrosión expuesta 7.03% y fisuras 0.76%
- El ciclo del desarrollo de estos daños se inicia con las fisuraciones, que con el tiempo pasan a la delaminación del concreto, posteriormente a corrosión expuesta, y cuando se realizan reparaciones deficientes se convierten en daños en el tiempo, siendo continuo este ciclo cuando no se realiza una intervención correcta en la edificación.
- Respecto a la extensión de daños en los edificios evaluados, se obtuvo que cuatro edificios (ECA-01, ECA02, ECA 06 y ECA-08) están comprometidas las columnas con un grado de afectación mayor al 75%, ocho edificios tienen un grado de afectación mayor al 50% en vigas, un edificio con afectación mayor al 75% (ECA-08) en losas, mientras que el resto de edificios tienen una afectación mayor al 50%.
- Respecto a la gravedad de daños, el 50% de los edificios presentan una intensidad elevada y el resto intensidad media para el caso de columnas. En cuanto a las vigas, tres edificios (ECA-05, ECA-08, ECA09) presentan intensidad elevada y el resto con intensidad media. Para el caso de las losas, 8 edificios presentan intensidad media, y dos edificios (ECA-06 y ECA-07) con intensidad baja. Finalmente, los muros se encuentran entre una intensidad baja y media en todos los edificios.
- En cuanto a la evolución de los daños todos los elementos estructurales de los edificios en estudio tienen una velocidad rápida de deterioro por encontrarse en un ambiente agresivo.

8.1.2. Evaluación de la calidad del concreto.

- Del resultado de la inspección visual, resistencia a compresión, y profundidad de carbonatación, se concluye que la calidad de concreto presenta deficiencias principalmente en los elementos estructurales columnas y vigas de los edificios ECA-02, ECA-08 y ECA-09. Asimismo, a pesar que el resto de edificios cumplen con las exigencias de resistencia a compresión estipuladas en la norma E.060 del R.N.E, existen daños superficiales de delaminación, corrosión expuesta y reparación deficiente sustentados en 8.1.1, por lo que estos edificios necesitan ser intervenidos para evitar su colapso total.
- Del resultado de resistencia a compresión en núcleos de diamantina se evidencio que el 80% cumple con los criterios de aceptación estipulados en la Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones. El 20% que no cumple se encuentra relacionado con los elementos estructurales columnas en los edificios ECA-02 y ECA-08 y vigas en los edificios ECA-08 y ECA-09.
- Se comprobó que la profundidad de carbonatación fluctuante entre 3.3 mm y 12.2 mm, guarda una estrecha relación con las patologías y daños presentados en los elementos estructurales vigas, columnas y losas de los edificios evaluados.

8.1.3. Evaluación de la calidad del acero.

- A partir de los resultados de potencial de celdas obtenidos en las armaduras de refuerzo de los elementos estructurales, se evidenció que tres edificios (ECA-02, ECA-06 y ECA-08) presentan una probabilidad de corrosión mayor al 90% en columnas y que los edificios ECA-09 y ECA-10 presentan una probabilidad de corrosión menor al 10% en columnas. Asimismo, tres edificios (ECA-08, ECA-09 y ECA-10) presentan una probabilidad de corrosión mayor al 90% y dos edificios (ECA-02 y ECA-06) se encuentran menor al 10% en vigas.
- Respecto a la evaluación del potencial de celdas con la carbonatación, se demostró que a mayor frente carbonatado se incrementa el potencial de corrosión y los daños en los elementos estructurales.
- Respecto a la evaluación entre el recubrimiento y el potencial de celdas, a medida que incrementa el recubrimiento, el potencial de corrosión decrece.
- Para resultados de resistencia a compresión por debajo del $f'c$ especificado, la carbonatación del concreto se incrementa.
- Se concluye que, a menor resistencia a compresión, menor recubrimiento del concreto y mayor diámetro del acero de refuerzo, existe un incremento significativo del frente carbonatado y el aumento del potencial de corrosión.

8.1.4. *Relación existente entre la vida útil residual y el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo.*

- En cuanto al periodo de iniciación de la vida útil residual, debido a la baja calidad de concreto en el edificio ECA-08 se obtuvo 1.38 años y 1.30 años respectivamente para columnas y vigas. Asimismo, a mayor recubrimiento se obtuvo mayor periodo de iniciación de hasta 4.39 años. También se evidencia que el inicio de la carbonatación acelera notablemente el decrecimiento del periodo de iniciación.
- En la estimación del periodo de propagación de la vida útil residual, tanto en las vigas como en las columnas, se evidenció que a menor recubrimiento y mayor diámetro del acero de refuerzo el resultado tiende a disminuir. Asimismo, la velocidad de propagación es el máximo debido a que todos los elementos se encuentran en un ambiente agresivo y con diferentes sales y cloruros en el ambiente que son muy dañinos para el concreto armado, lo cual acelera la propagación de la corrosión.
- Finalmente, en la estimación de la vida útil residual, se tiene que, a mayor resistencia a compresión, mayor recubrimiento mayor vida útil residual, y a mayor carbonatación mayor diámetro del acero de refuerzo la vida útil residual disminuye.
- En cuanto a la comparación realizada de la vida útil residual versus el potencial de corrosión, para los elementos estructurales columnas se obtiene la función polinómica de segundo grado $9 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.0798x + 23.857$ con una confiabilidad de $R^2 = 0.9736$. Para los elementos estructurales vigas se obtiene la función polinómica de segundo grado $4 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.0405x + 17.24$ con una confiabilidad de $R^2 = 0.8781$.
- De las ecuaciones se puede concluir que a mayor potencial de corrosión la vida útil residual es menor y que un elemento estructural nuevo en condiciones similares al estudio tendría una vida útil residual aproximado entre 17.24 y 23.86 años.
- En cuanto a la integración de la comparación realizada de la vida útil residual versus el potencial de corrosión para las columnas y vigas, se obtiene como resultado una función polinómica de segundo grado de $5 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.0529x + 19.514$ con una confiabilidad de $R^2 = 0.9013$, concluyéndose que a partir de un potencial de corrosión de -400mv se tiene similar a un comportamiento lineal con una gradiente mínima en el cambio de la vida útil residual de una edificación.
- Finalmente, a medida que el potencial de semiceldas se aleja la vida útil residual disminuye inicialmente para una variación de 20mv en 1 año, siendo crítico a partir de - 500V.
- Se obtuvo una tabla con 90% de confiabilidad para predecir la vida útil residual a partir del potencial de semi celdas practicado en las armaduras de un elemento estructural

8.2.Recomendaciones

- Se recomienda efectuar una intervención inmediata de reparación en los elementos estructurales vigas y columnas de los edificios con más del 50% de afectación en su área superficial. Para edificios con una afectación mayor al 75%, se recomienda realizar una nueva construcción.
- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento correctivo y mantenimiento periódico, para salvaguardar la integridad de los ocupantes de estos edificios de la planta industrial Quimpac, evaluados en la presente investigación.
- Monitorear la vida útil residual de edificios de concreto armado en plantas industriales, mediante el método del frente carbonatado al resto de los edificios de planta Quimpac y dentro de otras plantas que se encuentre en un entorno similar para obtener mayor confiabilidad en los resultados proyectados mediante el ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo.
- Para futuras investigaciones, se puede considerar la estimación de la vida útil residual en edificios de concreto armado dentro de plantas industriales, mediante otras metodologías y comparar el comportamiento de los resultados.

Referencia

- Alla, A. (2016). *Análisis comparativo de normativas: "ACI 318-14 Y EHE-08"*. Universidad da coruña.
- andina.pe. (6 de Setiembre de 2020). *andina.pe*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-manufactura-crecera-mas-promedio-latinoamerica-desde-2021-812735.aspx#:~:text=Producci%C3%B3n%20industrial%20peruana%20liderar%C3%A1%20avance,hasta%20el%202023%2C%20prev%C3%A9%20LatinFocus&text=En%20julio%20pasado%2C>
- Andrade, C. (2013). Especificaciones de cálculo de la vida útil y estado límite de corrosión. *ALCONPAT*, 79-97.
- Andrade, C., & Gonzales, J. (1988). *Tendencias actuales en la investigación sobre corrosión de armaduras*. España.
- Apaza, U. (2016). *Evaluación tecnológica de los procesos de purificación de soda cáustica*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología de investigación*. Caracas, Republica bolivariana de Venezuela: EPISTEME.
- ASTM C876. (2009). *Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete*.
- Blanco, A. (s.f.). *Evolución del diseño en concreto armado en el Perú*. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2007/10/AB-1-Evolucion-del-CA.pdf>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Cayllahua, R. (2019). *Aplicación del Mantenimiento Productivo Total(TPM) para incrementar la productividad en la planta química de la empresa QUIMPAC, Callao, 2019*. Lima: UCV.
- Cerna, M., & Galicia, W. (2010). *Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material*. Trujillo.
- Contreras, C., Ravelo, R., & De Jesus, E. (2014). *Evaluación, diagnóstico patológico y propuesta de intervención del puente Romero Aguire*. Universidad de Cartagena.
- Cruz, C. (2016). *Análisis patológico de la carbonatación de muelles en ambiente salino, caso muelle no 2 de la base naval de guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Cruz, M., & Hernandez, E. (2017). *Relación entre la velocidad de corrosión de la armadura y el ancho de fisuras en vigas de concreto armado expuestas a ambientes que simulan el medio marino*. España: Universidad de Granada.
- DIRECTIVA N°01-2006-MTC/14. (2006). *Guía para inspección de puentes*.
- DIRECTIVA N°014-2019-MTC/18. (2019). *Guía para inspección de puentes*. Lima.
- DSN°022-2016-VIVIENDA. (2016). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible*. MVCS.
- EHE-08. (2010). *Instrucción de Hormigón Estructural*. Ministerio de fomento - España.

- Emmons P. (2005). *Manual Ilustrado de reparación y mantenimiento del concreto*. México: Imcyc.
- Felix et al, E. F. (2018). Analisis de vida util de estructuras de concreto armado bajo la accion de la corrosion uniforme por medio de un modelo con RNA acoplado al MEF. *ALCONPAT*, 1-15.
- Francois et al, R. (2018). *Corrosion and its Consequences for Reinforced Concrete Structures*.
- Gamero, A., & Rondinelli, M. (2018). *Producción de soda Cáustica*. Lima: USIL.
- Gerrero, J., Montoya, H., & De la Cruz, M. (2016). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. *Ciencia Acierta*.
- Helene, P. (1997). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. La habana, Cuba: IMCYC.
- Helene, P. R. (2015). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. imcyc.
- Hernández, Y., O., D. R., Torres, A., Delgado, S., Rodriguez, J., & Morón, O. (2016). Relación entre la velocidad de corrosión de la armadura y el ancho de fisuras en vigas de concreto armado expuestas a ambientes que simulan el medio marino. *ALCONPAT*, 271-282.
- Instituto Americano del Concreto-Peru. (2016). Reparacion de edificaciones de concreto. *Concreto al dia* , 20-25.
- Instituto chileno del cemento y hormigón. (2008). *Tecnicas de reparación y refuerzo de estructuras de hormigon armado y albañilerias*. . Chile: ICH.
- Mark, A., & Hans, B. (2019). *Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures – review and critique*.
- Marquez, R. (2019). La industria un Motor Olvidado. *Parques Industriales para el Desarrollo Industrial Inclusivo y Sostenible*, (pág. 5). Lima.
- Moreno, E. (2008). *Corrosion de armaduras en estructuras de hormigo: Estudio experimental de la variacion de la ductilidad en armaduras corroidas aplicando el criterio de acero equivalente*. Leganes.
- Moreno, P. (07 de Diciembre de 2018). *infocorrosion.com*. Obtenido de <https://infocorrosion.com/index.php/infocorrosion-recomienda/item/931-analisis-en-la-designacion-del-grado-de-corrosion-durante-la-inspeccion-de-recubrimientos>
- Morinaga, S. (1990). Prediction of service lives of reinforced concrete buildings based on the corrosion rate of reinforcing steel. *Fifth International Conference on Durability of Buildings Materials and Components*, (págs. 5-16). Brighton, United Kingdom.
- Mosquera-Rey, E. (2015). Revisión de la validez del coeficiente de seguridad, propuesto por EHE-08, para la estimación de la vida útil de cálculo en estructuras de edificación sometidas a la acción de cloruros. *Informes de la Construcción*.
- Mucching, J. (2018). *Análisis del tiempo de vida útil residual estimado por el método semiprobabilistico de 04 edificaciones afectadas por corrosión del CC. Mall Plaza Bellavista*. Lima: UNFV.

- NACE. (8 de Marzo de 2016). *inspectioneering.com*. Recuperado el 30 de Mayo de 2020, de <https://inspectioneering.com/news/2016-03-08/5202/nace-study-estimates-global-cost-of-corrosion-at-25-trillion-ann>
- Noval, L. (2017). *El cloro, produccion e industria*. UNED.
- NTE E.060. (2009). *Norma E.060 Concreto armado*. Lima, Peru: SENCICO.
- OGEIEE. (2016). <https://ogeiee.produce.gob.pe/>. Obtenido de <https://ogeiee.produce.gob.pe/>: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/estadistica-oee/estadistica-sectorial>
- ogeiee. (Diciembre de 2020). ogeiee.produce.gob.pe. Obtenido de <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/951-2020-diciembre-reporte-de-produccion-manufacturera>
- Ortega, L. (2012). *Propuesta metodologica para estimar la vida util de los sistemas constructivos de fachadas y cubiertas utilizados actualmente con mas frecuencia en la edificacion española a partir del metodo propuesto por la Norma ISO-15686*. Valencia.
- Pacora Herrera, M. (2017). *Corrosión del acero corrugado e integridad en estructuras de concreto armado en el asentamiento humano San José de Manzares en el 2017*. Lima.
- Pasquel, E. (1998). *Temas de tecnologia del concreto en el Perú*. Lima, Peru: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Perez, L. (2010). *Vida útil residual de estructuras de hormigon armado afectadas por corrosión*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- quimpac. (2020). quimpac.com.pe. Obtenido de <http://quimpac.com.pe/descripcion.html>
- San Juan, M. (2002). *Calculo del periodo de iniciacion de la corrosion de de la armadura del hormigon*. Madrid: Torroja.
- SNI. (2019). Parques Industriales para el Desarrollo Industrial Inclusivo y Sostenible. *INDUSTRIA PERUANA*.
- Sotomayor, C. (2016). Diagnostico de deterioros en estructuras de concreto armado. *Concreto, Diagnostico y Reparacion de estructuras de concreto armado atacadas por corrosion*, 6-26.
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of Steel in Concrete*. Stockholm, Sweden: Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- Zambrano, K. (2017). *Comparacion de los ensayos de diamantina y esclerometria de la pavimentacion de los jirones Japon, Portugal y Brasil - Cajamarca*. Cajamarca.
- Zina, A., & Ebrahim, A.-j. (2020). *A Modified Semi-Probabilistic Approach for the Assessment of the Residual Service Life of Reinforced Concrete Structures Subjected to Carbonation*.

Anexos

10.1. Anexo 01: Formatos para la recolección de datos en campo y registro de ensayos en campo y laboratorio.

10.1.1. Recolección de datos acerca de las condiciones globales del edificio.

Formato 1: Condiciones globales del edificio de concreto armado en plantas industriales.
Fuente propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO xxxxx		
NOMBRE DEL EDIFICIO:	CODIGO DEL EDIFICIO	
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO:		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES		
Número de pisos:		
Forma:		
Dimensión:		
Año construcción:		
COLUMNA	RD-M =	Extensión:
Dimensión:	RD-A =	Gravedad:
Cantidad:	DC-M =	Evolución:
Área superficial:	DC-A =	Condición Ambiental:
	F-B =	
	Sub. Total =	
MURO	RD-M =	Extensión:
Dimensión:	RD-A =	Gravedad:
Cantidad:	DC-M =	Evolución:
Área Superficial:	DC-A =	Condición Ambiental:
	F-B =	
	Sub. Total =	
VIGA	RD-M =	Extensión:
Dimensión:	RD-A =	Gravedad:
Cantidad:	DC-M =	Evolución:
Área Superficial:	DC-A =	Condición Ambiental:

	F-B = Sub. Total =	
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: Cantidad: Área Superficial:	RD-M = RD-A = DC-M = DC-A = F-B = Sub. Total =	Extensión: Gravedad: Evolución: Condición Ambiental:
TOTAL, DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = RD-A = DC-M = DC-A = CE-A = F-B = Sub. Total = 183.60	Extensión: Gravedad: Evolución: Condición Ambiental:
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO		

10.1.2. Cuantificación de daños por niveles de afectación en la estructura.

Formato 2: Cuantificación de daños por niveles de afectación en la estructura de concreto armado.

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio:				Código del edificio		
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
TOTAL	M2					

10.1.3. Recolección de los resultados del ensayo de compresión de testigos.

Formato 3: Resultados del ensayo de compresión de testigos. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio:				Código del edificio:		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		$f'c$	Min Ind.	Prom.	$Xi \geq 85\%f'c$	Min > 75% $f'c$
Fecha de Extracción:						
Fecha de Ensayo:						

10.1.4. Recolección de los resultados de la prueba cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína.

Formato 4: Resultado de la prueba cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína. Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio:			Código del edificio:
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
Fecha de ensayo:23/01/2018			

10.1.5. Recolección de los resultados de la evaluación de la calidad del acero.

Formato 5: Registro la evaluación de la calidad del acero. Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio:			Código del edificio:
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
Fecha de ensayo:			

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-01			Código del edificio: ECA 01
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
Fecha de ensayo:22/01/2018			

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO

Nombre del Edificio:						Código del edificio:			
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
Fecha de evaluación:									

10.2. Anexo 02: Resultados del mapeo y la inspección visual en campo realizadas de cada edificio en la planta industrial

10.2.1. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Decantador E-01 (ECA -01.

Tabla 42: Resultados de la inspección visual en ampo del edificio decantador E- 01 (ECA - 01). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO DECANTADOR E-01 (ECA 01)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: DECANTADOR E-01	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -01
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: En el edificio decantador E-01 se hacen trabajos para separar los residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Circular Dimensión: 15.80 diámetro x 6.30 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 2.1m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 8 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 60.48 m2	RD-M = 11.15 RD-A = 20.70 DC-M = 8.90 DC-A = 13.48 F-B = 0.41 Sub. Total = 54.64	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
MURO Dimensión: 1er nivel: 3.30m x 2 m x 0.4 m; 2do nivel: 2.80m x 0.25m x 11m Cantidad: 6 (Ejes C, G – 1er Piso y Ejes A-C, C-E, E-G, G-A – 2do Piso) Área Superficial: 278.08 m2	RD-A = 39.06 DC-A = 1.80 Sub. Total = 40.86	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 138.95 m ²	RD-M = 7.96 RD-A = 12.01 DC-M = 8.33 DC-A = 2.78 CE-A = 0.83 F-B = 4.96 Sub. Total = 36.87	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 223.32 m ²	RD-M = 10.32 RD-A = 20.67 DC-M = 1.63 DC-A = 14.63 CE-A = 2.70 F-B = 1.03 Sub. Total = 50.98	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 29.43 RD-A = 92.44 DC-M = 18.86 DC-A = 32.69 CE-A = 3.53 F-B = 6.40 Sub. Total = 183.35	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 74 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 75 Corrosión expuesta (CE) - Figura 76 Fisuras <0.04 mm (F) - Figura 77	

Tabla 43: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio decantador E- 01 (ECA - 01). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO		
Nombre del edificio: DECANTADOR E-01	Código del edificio	ECA-01

MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	11.15	0.00	7.96	10.32	29.43
RD-A	M2	20.70	39.06	1.98	30.95	92.69
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	8.90	0.00	8.33	1.63	18.86
DC-A	M2	13.48	1.80	2.78	14.63	32.69
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-A	M2	0.00	0.00	0.83	2.70	3.53
F-B	M2	0.41	0.00	4.96	1.03	6.40
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	54.64	40.86	26.84	61.26	183.60

A continuación, se presenta el registro fotográfico del mapeo realizado al edificio Decantador E-01 (ECA – 01).



Figura 74: Reparación deficiente(RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia

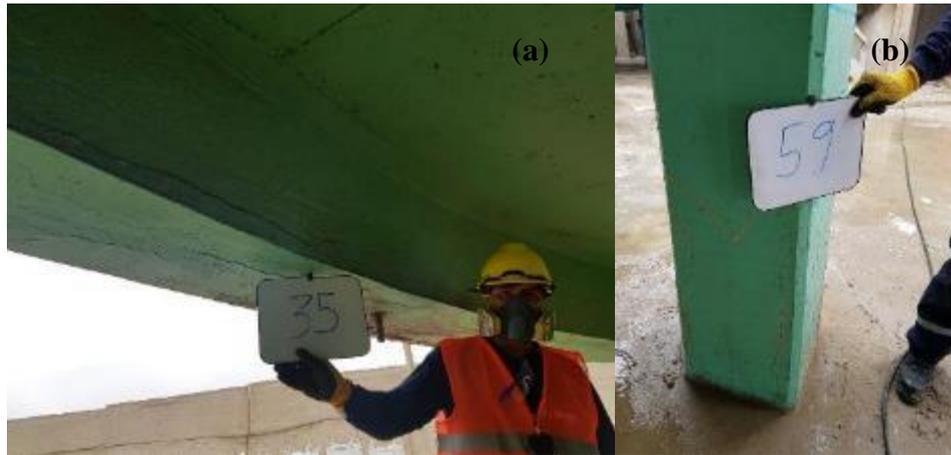


Figura 75: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje D- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia



Figura 76: Corrosión expuesta (CE), (a) losa maciza y (b) Viga perimetral exterior 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia

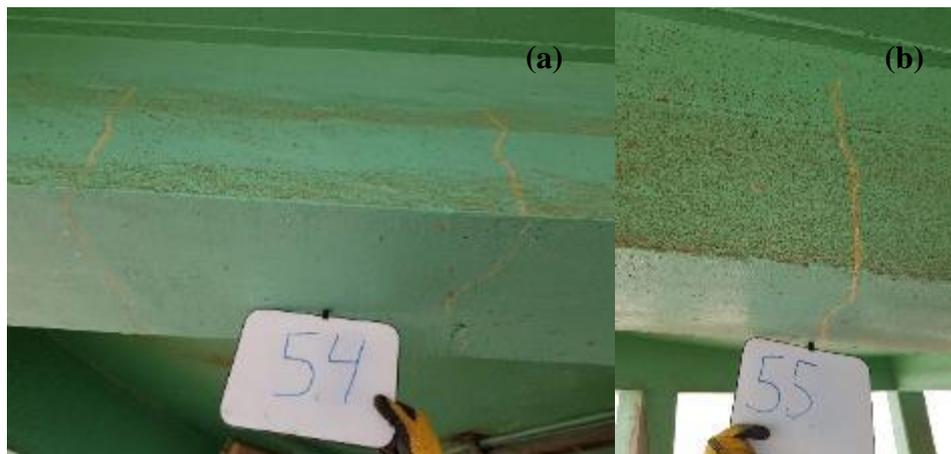


Figura 77: Fisuras $<0.04\text{ mm}$ (F), (a) Central eje B y (b) Viga Eje D- 1er Piso, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia

10.2.2. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Decantador E-02 (ECA -02)

Tabla 44: Resultados de la inspección visual en campo del edificio decantador E- 02 (ECA - 02). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO DECANTADOR E-02 (ECA 02)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: DECANTADOR E-02	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -02
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio decantador E-02, es el edificio que se encarga de separar los residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Se encuentra ubicada en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Circular Dimensión: 15.80 diámetro x 5.83 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 1.90m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 18 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 54.72 m2	DC-M = 18.35 DC-A = 27.53 CE-A = 2.40 Sub. Total = 48.28	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
MURO Dimensión: 1er nivel: 3.30m x 2 m x 0.4 m; 2do nivel: 2.80m x 0.25m x 11m Cantidad: 6 (Ejes C, G – 1er Piso y Ejes A-C, C-E, E-G, G-A – 2do Piso) Área Superficial: 273.28 m2	DC-A = 8.35 CE-A = 2.10 Sub. Total = 10.45	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 138.95 m2	DC-M = 1.76 DC-A = 10.26 CE-A = 7.40 F-B = 1.98 Sub. Total = 21.40	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 223.32 m2	RD-M = 3.13 RD-A = 9.38 DC-M = 2.52 DC-A = 22.12 CE-A = 10.00 F-B = 4.65 Sub. Total = 52.25	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 3.13 RD-A = 9.38 DC-M = 22.63 DC-A = 68.26 CE-A = 21.90 F-B = 6.63 Total = 132.38	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 78 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 79 Corrosión expuesta (CE) - Figura 80 Fisuras <0.04 mm (F) - Figura 81	

Tabla 45: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio decantador E- 02 (ECA - 02). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: DECANTADOR E-02			Código del edificio		ECA-02	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RD-M	M2	0.00	0.00	0.00	3.13	3.13
RD-A	M2	0.00	0.00	0.00	9.83	9.83
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	18.35	0.00	1.76	2.52	22.63
DC-A	M2	27.53	8.35	10.26	22.12	68.26
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-A	M2	2.40	2.10	7.40	10.00	21.90
F-B	M2	0.00	0.00	1.98	4.65	6.63
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	48.28	10.45	21.4	52.25	132.38

A continuación, se presenta el registro fotográfico del mapeo realizado al edificio Decantador E-01 (ECA – 01).



Figura 78: Reparación deficiente(RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia



Figura 79: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje E- 1er Piso, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia



Figura 80: Corrosión Expuesta, (a) Viga perimetral eje B-C, (b) Muro Perimetral Eje D-E 2do Piso y Columna Eje F/A en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia

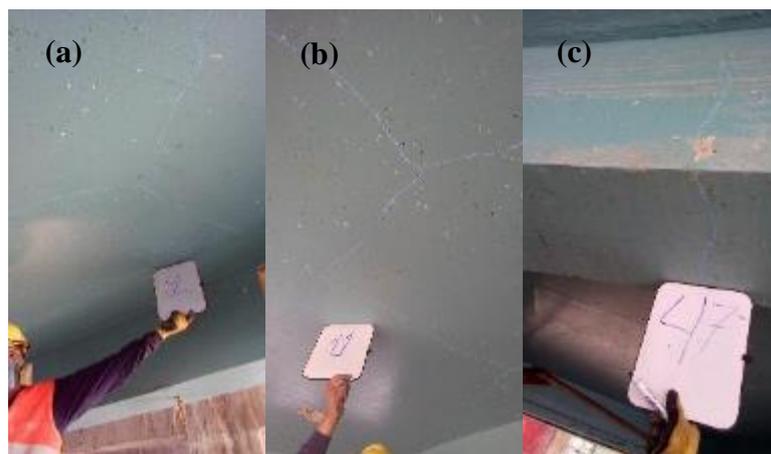


Figura 81: Fisuras $< 0.04 \text{ mm}$ (F), Losa aligerada $e=25\text{cm}$ perimetral, (b) Losa Aligerada $e=25\text{cm}$ perimetral y (c) Viga Eje C, en edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia

10.2.3. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Decantador E-04 (ECA -03)

Tabla 46: Resultados de la inspección visual en campo del edificio decantador E- 04 (ECA - 03). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO DECANTADOR E-04 (ECA 03)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: DECANTADOR E-04	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -03
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio decantador E-04, es el edificio que se encarga de separar los residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Circular Dimensión: 11.70 diámetro x 8.00 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 4.6m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 18 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 132.48 m2	RD-M = 2.45 RD-A = 23.27 DC-M = 18.39 DC-A = 26.86 CE-A = 6.24 Sub. Total = 72.21	Extensión: 3 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
MURO Dimensión: 1er nivel: 3.30m x 2 m x 0.4 m; 2do nivel: 2.80m x 0.25m x 11m Cantidad: 6 (Ejes C, G – 1er Piso y Ejes A-C, C-E, E-G, G-A – 2do Piso) Área Superficial: 317.92 m2	DC-A = 8.35 CE-A = 2.10 Sub. Total = 10.45	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 126.63 m2	DC-M = 8.0 DC-A = 24.00 CE-A = 1.37 F-B = 0.10	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2

	Sub. Total = 33.47	Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 207.64 m ²	RD-A = 10.00 DC-M = 4.19 DC-A = 30.73 CE-M = 1.24 CE-A = 0.41 F-B = 0.44 Sub. Total = 47.01	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 2.45 RD-A = 33.27 DC-M = 30.58 DC-A = 89.94 CE-M = 1.24 CE-A = 10.12 F-B = 0.54 Total = 168.14	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 82 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 83 Corrosión expuesta (CE) - Figura 84 Fisuras <0.04 mm (F) - Figura 85	

Tabla 47: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio decantador E- 04 (ECA - 03). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO		
Nombre del edificio: DECANTADOR E-04	Código del edificio	ECA-03
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		

CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	2.45	0.00	0.00	0.00	2.45
RD-A	M2	23.27	0.00	0.00	10.00	33.27
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	18.39	0.00	8.00	4.19	30.58
DC-A	M2	26.86	8.35	24.00	30.73	89.94
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	1.24	1.24
CE-A	M2	6.24	2.10	1.37	0.41	10.12
F-B	M2	0.00	0.00	0.10	0.44	0.54
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	77.21	10.45	33.47	47.01	168.14



Figura 82: Reparación deficiente(RD), (a) Viga perimetral y (b) Columna Eje B- 1er Piso, en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia



Figura 83: Delaminación de concreto(DC), (a) Volado losa aligerada $e=25\text{cm}$, (b) Viga Perimetral y (c) Columna central Eje D/C - 1er Piso, en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia



Figura 84: Corrosión Expuesta (CE), (a) Viga perimetral eje E-C, (b) Columna central Eje F-A 1er Piso y Viga perimetral en cara interior Eje F/A en edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia

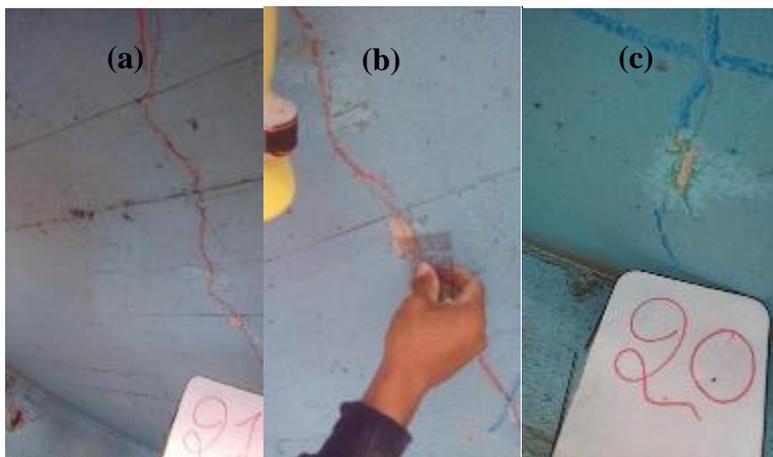


Figura 85: Fisuras $<0.04\text{ mm}$ (F), (a) y (c) Techo losa aligerada $e=25\text{cm}$ y (b) Medición de fisura en techo central, en edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia

10.2.4. Resultados del mapeo e inspección visual de Decantador E-05 (ECA -04)

Tabla 48: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Columnas Pasarela (ECA - 04). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO DECANTADOR E-05 (ECA 04)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: DECANTADOR E-05	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -04
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Decantador E-05, es la estructura de concreto armado que se encarga separar los residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 03 Forma: Circular Dimensión: 11.70 diámetro x 9.20 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 5.4m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 18 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 155.52 m2	RD-A = 5.60 DC-M = 28.67 DC-A = 37.55 CE-A = 7.86 Sub. Total = 79.68	Extensión: 3 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
MURO Dimensión: 1er nivel: 6.10m x 2 m x 0.4 m; 2do nivel: 3.10m x 0.25m x 11m Cantidad: 6 (Ejes C, G – 1er Piso y Ejes A-C, C-E, E-G, G-A – 2do Piso) Área Superficial: 331.36 m2	DC-A = 0.80 CE-A = 1.10 Sub. Total = 1.90	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 126.63 m2	DC-M = 8.14 DC-A = 24.30 CE-A = 0.60 FB-A = 0.14 Sub. Total = 33.18	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 207.64 m ²	RD-M = 7.32 RD-A = 16.35 DC-M = 1.20 DC-A = 16.42 CE-M = 1.20 Sub. Total = 42.49	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 7.32 RD-A = 21.95 DC-M = 38.01 DC-A = 79.06 CE-M = 1.2 CE-A = 9.56 F-B = 0.14 Total = 157.25	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 86 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 87 Corrosión expuesta (CE) -Figura 88	

Tabla 49: Cuantificación de daños por niveles de afectación de Decantador E-05 (ECA - 04). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: DECANTADOR E-05			Código del edificio		ECA-04	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RD-M	M2	0.00	0.00	0.00	7.32	7.32
RD-A	M2	5.60	0.00	0.00	16.35	21.95
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	28.67	0.00	8.14	1.20	38.01
DC-A	M2	43.01	0.80	24.43	10.82	79.06
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	1.20	1.20
CE-A	M2	7.86	1.10	0.60	0.00	9.56
F-B	M2	0.00	0.00	0.14	0.00	0.14
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	85.14	1.9	33.31	36.89	157.24



Figura 86: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/C-1er Piso, (b) Columna Eje B/D- 1er Piso, Volado losa aligerada $e=25\text{cm}$ en edificio Decantador E-05 (ECA -04).
Fuente Propia

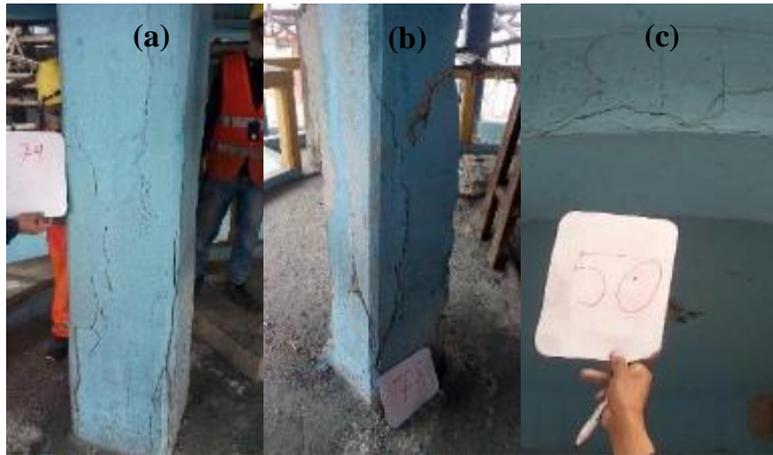


Figura 87: Delaminación de concreto(DC), (a) Columna eje A/C-1er Piso, (b) Columna Eje B/D- 1er Piso y Viga central Eje C/d, en edificio Decantador E-05 (ECA -04). Fuente Propia

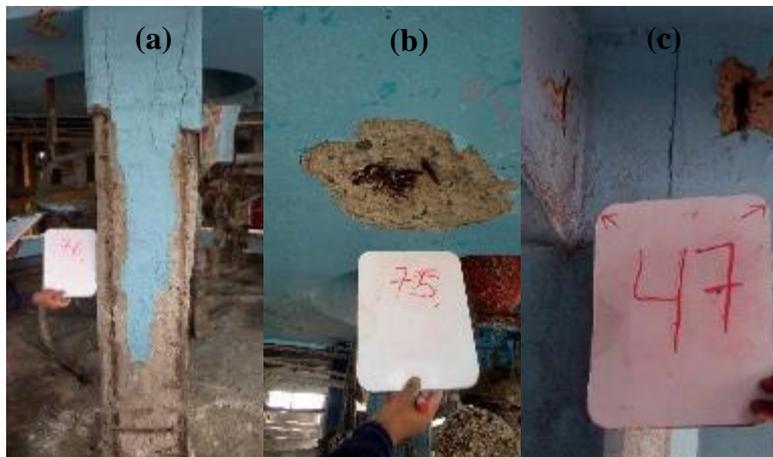


Figura 88: Corrosión Expuesta, (a) Columna eje E-C, (b) Techo losa maciza $e=25\text{cm}$ y (c) Viga central en cara interior Eje F/A en edificio Decantador E-05 (ECA -04). Fuente Propia

10.2.5. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA -05)

Tabla 50: Resultados de la inspección visual en campo del edificio de Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO DECANTADOR E-05 (ECA 05)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: HORNOS DE ACIDO CLORHÍDRICO	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -05
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Hornos de Ácido Clorhídrico, es el edificio que se utiliza para separar los residuos sólidos de la combinación del fosfato bicálcico y la roca fosfórica. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 04 Forma: Rectangular Dimensión: 22.60mx7.00m x 13.80 alto Año construcción: 1981		
COLUMNA Dimensión: 13.80m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 18 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 309.12 m2	DC-M = 57.41 DC-A = 86.12 CE-A = 13.45 Sub. Total = 156.98	Extensión: 3 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 395.36 m2	RD-M = 35.20 RD-A = 40.21 DC-M = 30.29 DC-A = 68.94 CE-A = 11.24 Sub. Total = 185.88	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und	RD-M = 12.50 DC-M = 30.25 DC-A = 71.25 CE-M = 6.48	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2

Área Superficial: 518.88 m ²	Sub. Total = 120.48	Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 105.11 RD-A = 40.21 DC-M = 60.54 DC-A = 226.31 CE-M = 6.48 CE-A = 24.69 Total = 463.33	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 89 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 90 Corrosión expuesta (CE) - Figura 91	

Tabla 51: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Hornos De Ácido Clorhídrico - (ECA - 05). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: HORNOS DE ACIDO CLORHÍDRICO			Código del edificio		ECA-05	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	57.41	0.00	35.20	12.50	105.11
RD-A	M2	0.00	0.00	40.21	0.00	40.21
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	0.00	0.00	30.29	30.25	60.54

DC-A	M2	86.12	0.00	68.94	71.25	226.31
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	6.48	6.48
CE-A	M2	13.45	0.00	11.24	0.00	24.69
F-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	156.98	0	185.88	120.48	463.34

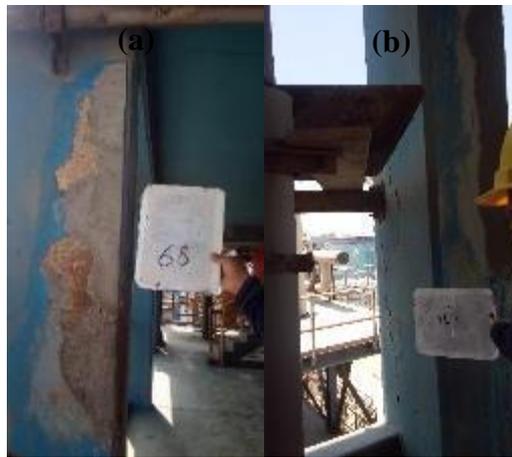


Figura 89: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/E 2do Piso y (b) Columna Eje A/B- 2do Piso, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia



Figura 90: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C- 3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia

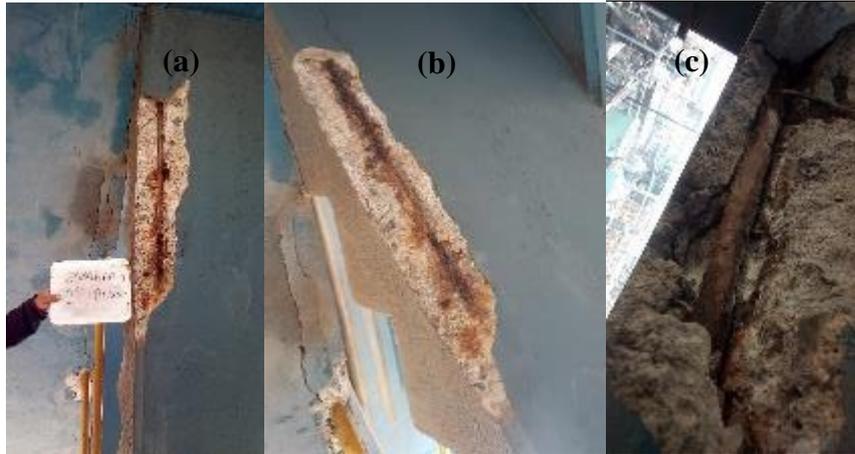


Figura 91: Corrosión Expuesta (CE), (a) Columna eje E/C, (b) Escalera y (c) Columna Eje A/C, en edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA - 05). Fuente Propia

10.2.6. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Reactores (ECA -06)

Tabla 52: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Reactores (ECA - 06).
Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO REACTORES (ECA 06)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: REACTORES	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -06
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Reactores, es el edificio donde se realiza la reacción de partículas de cloro y sodio para su posterior derivación. Se ubica en la planta de Salmuera, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Rectangular Dimensión: 16mx5.45x 4.70 alto Año construcción: 1981		
COLUMNA Dimensión: 4.7m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 18 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 60.16 m2	RD-M = 14.34 RD-A = 26.29 DC-M = 9.56 DC-A = 2.39 Sub. Total = 52.58	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 240.80 m2	RD-M = 8.13 RD-A = 29.80 DC-M = 10.83 DC-A = 6.50 Sub. Total = 55.26	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 900 m2	RD-M = 11.47 RD-A = 25.81 DC-M = 5.74 DC-A = 8.60 Sub. Total = 51.62	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	DC-M = 33.94 DC-A = 81.90 DC-M = 26.13 DC-A = 17.49 Total = 159.46	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 92 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 93	

Tabla 53: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Reactores (ECA - 06).
Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: REACTORES				Código del edificio	ECA-06	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	14.34	0.00	8.13	11.47	33.94
RD-A	M2	26.29	0.00	29.80	25.81	81.90
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	9.56	0.00	10.83	5.74	26.13
DC-A	M2	2.39	0.00	6.50	8.60	17.49
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

F-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	52.58	0	55.26	51.62	159.46

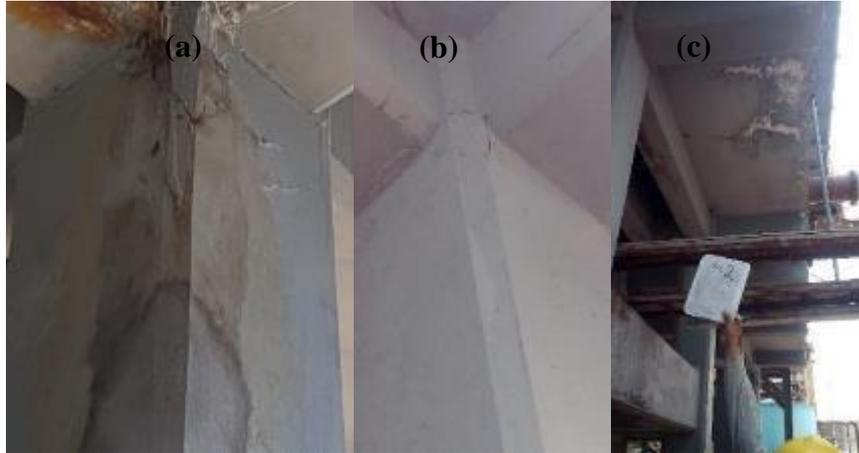


Figura 92: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje B/C 2do Piso y (b) Columna Eje C-D- 2do Piso, en Edificio Reactores (ECA -06). Fuente Propia



Figura 93: Delaminación de concreto(DC), (a) Vigas centrales, (b) Columna Eje D/C 1er piso y Techo losa maciza $e=25\text{cm}$, en Edificio Reactores (ECA -06). Fuente Propia

10.2.7. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Cloro Liquido (ECA -07)

Tabla 54: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Cloro Liquido (ECA -07). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO CLORO LIQUIDO (ECA 07)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: CLORO LIQUIDO	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -07
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Cloro Liquido es el edificio donde se produce el cloro industrial. Se ubica en la planta de Cloro, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Rectangular Dimensión: 27.60mx17.30x9.30 alto Año construcción: 1982		
COLUMNA Dimensión: 9.30m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 6 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 89.28 m2	RD-M = 1.20 DC-M = 11.31 DC-A = 20.85 CE-M = 2.08 CE-A = 6.25 Sub. Total = 41.69	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 243.24 m2	DC-M = 28.63 DC-A = 35.8 CE-M = 3.58 CE-A = 3.72 F-B = 1.26 Sub. Total = 72.99	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 652 m2	DC-M = 12.94 DC-A = 21.56 CE-M = 2.16 CE-A = 10.77 Sub. Total = 47.43	Extensión: 1 Gravedad: 0 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-A = 1.20 DC-M = 52.88 DC-A = 78.21 CE-M = 7.82 CE-A = 20.74 F-B = 1.26 Total = 162.11	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 94 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 95 Corrosión expuesta (CE) - Figura 96	

Tabla 55: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Cloro Liquido (ECA - 07). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: CLORO LIQUIDO				Código del edificio	ECA-07	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-A	M2	1.20	0.00	0.00	0.00	1.20
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	11.31	0.00	28.63	12.94	52.88
DC-A	M2	20.85	0.00	35.80	21.56	78.21

CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	2.08	0.00	3.58	2.16	7.82
CE-A	M2	6.25	0.00	3.72	10.77	20.74
F-B	M2	0.00	0.00	1.26	0.00	1.26
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	41.69	-	72.99	47.43	162.11



Figura 94: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/E 2do Piso y (b) Columna Eje A/B- 2do Piso, en Edificio Cloro Liquido (ECA -07). Fuente Propia



Figura 95: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C- 3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Cloro Liquido (ECA -07). Fuente Propia



Figura 96: Corrosión Expuesta (CE), (a) Viga eje E/C, (b) Viga Eje A/C, en Edificio Cloro Líquido (ECA -07). Fuente Propia

10.2.8. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Gris DP-03 (ECA -08)

Tabla 56: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Gris DP -03 (ECA -08). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO Gris DP.03 (ECA 08)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: GRIS DP -03	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -08
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Gris DP-03, es el edificio que se encarga de almacenar y redirigir el fosfato bicálcico de forma disuelta. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 03 + azotea Forma: Rectangular Dimensión: 6.00mx6.00mx 14.50 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 4.6m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 4 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 168. m2	RD-M = 9.25 RD-A = 34.20 DC-M = 21.96 DC-A = 64.40 Sub. Total = 129.81	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 108.46 m2	RD-M = 9.46 RD-A = 3.40 DC-M = 26.83 DC-A = 54.68 F-B = 0.85 Sub. Total = 95.22	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 116.44 m2	RD-M = 12.45 RD-M = 24.35 DC-M = 23.79 DC-A = 30.01 Sub. Total = 90.60	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 31.16 RD-A = 61.95 DC-M = 72.58 DC-A = 149.09 F-B = 0.85 Total = 315.63	Extensión: 4 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 97 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 98 Fisuras <0.04 mm (F) - Figura 99	

Tabla 57: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Gris DP -03 (ECA - 08). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: GRIS DP-03			Código del edificio		ECA-08	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	9.25	0.00	9.46	12.45	31.16
RD-A	M2	34.20	0.00	3.40	24.35	61.95
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	21.96	0.00	26.83	23.79	72.58
DC-A	M2	64.40	0.00	54.68	30.01	149.09
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-B	M2	0.00	0.00	0.85	0.00	0.85
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	129.81	-	95.22	90.60	315.63



Figura 97: Reparación deficiente(RD), (a) Columna eje A/E 2do Piso y (b) Columna Eje A/B- 2do Piso, en Edificio Gris DP-03 (ECA - 08). Fuente Propia



Figura 98: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C- 3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Gris DP-03 (ECA - 08). Fuente Propia

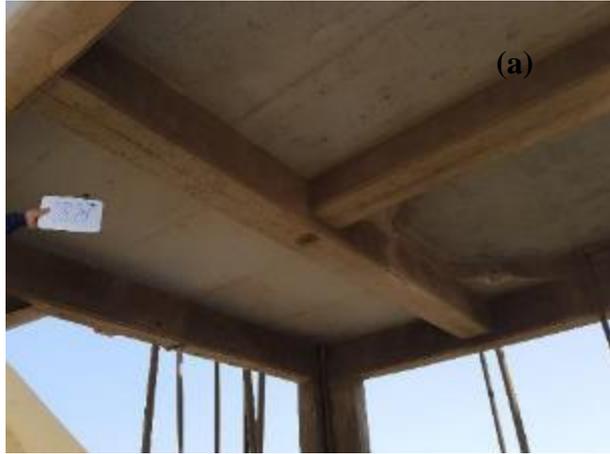


Figura 99: Fisuras <0.04 mm (F), (a) Techo losa aligerada $e=25$ cm, en edificio Gris DP-03 (ECA-08). Fuente Propia

10.2.9. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Roca Fosfórica (ECA -09)

Tabla 58: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Roca Fosfórica (ECA -09). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO ROCA FOSFÓRICA (ECA 09)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: ROCA FOSFORICA	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -09
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Roca fosfórica, es el edificio que se encarga de realizar la molienda de la roca fosfórica para su posterior proceso. Se ubica en la planta de Fosfato, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 06 Forma: Rectangular Dimensión: 24.50mx5.50mx20.30 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 7.30m x 0.50 m x 0.50 m. Cantidad: 16 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 274.00 m2	RD-M = 4.20 RD-A = 12.26 DC-M = 40.46 DC-A = 46.48 CE-M = 3.20 CE-A = 16.48 Sub. Total = 113.08	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.30x0.60m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 297 m2	RD-M = 26.24 RD-A = 31.45 DC-M = 34.25 DC-A = 76.58 CE-M = 6.24 CE-A = 11.45 Sub. Total = 186.21	Extensión: 3 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico

LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: circular diámetro 18.30m – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 392.00 m2	RD-M = 12.45 RD-A = 18.54 DC-M = 52.35 DC-A = 98.24 CE-M = 4.65 CE-A = 6.52 Sub. Total = 192.75	Extensión: 3 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	RD-M = 42.89 RD-A = 62.25 DC-M = 127.06 DC-A = 221.30 CE-M = 14.09 CE-A = 34.45 Sub. Total = 502.04	Extensión: 3 Gravedad: 2 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Reparación deficiente (RD) - Figura 100 Delaminación de Concreto (DC) - Figura 101 Corrosión expuesta (CE) - Figura 102	

Tabla 59: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Roca fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: Roca fosfórica				Código del edificio	ECA-09	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RD-M	M2	4.20	0.00	26.24	12.45	42.89
RD-A	M2	12.26	0.00	31.45	18.54	62.25
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	40.46	0.00	34.25	52.35	127.06
DC-A	M2	46.48	0.00	76.58	98.24	221.30
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-M	M2	3.20	0.00	6.24	4.65	14.09
CE-A	M2	16.48	0.00	11.45	6.52	34.45
F-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	123.08	-	186.21	192.75	502.04



Figura 100: Reparación deficiente(RD), (a) Columna en V eje A/E 2do Piso, (b) Columna Eje A/B- 4to Piso y (c) Viga 3er piso, en Edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia

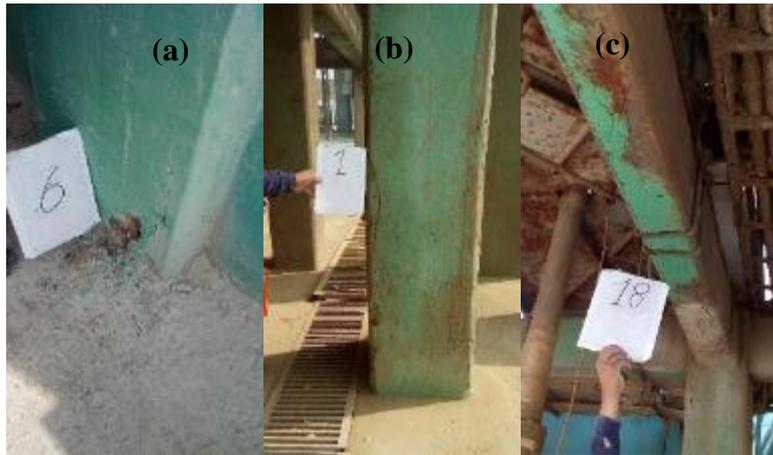


Figura 101: Delaminación de concreto(DC), (a) Columna Eje A/B, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Viga 1er piso, en Edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia



Figura 102: Corrosión Expuesta (CE), (a) Volado eje E/C, (b) Volado eje A/C, en Edificio Roca Fosfórica (ECA - 09). Fuente Propia

10.2.10. Resultados del mapeo e inspección visual del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA-10)

Tabla 60: Resultados de la inspección visual en campo del edificio Precipitador DP.08.5 (ECA-10). Fuente Propia

CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL EDIFICIO PRECIPITADOR DP -08-05 (ECA 10)		
NOMBRE DEL EDIFICIO: PRECIPITADOR DP -08-05	CODIGO DEL EDIFICIO	ECA -10
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO: El edificio Precipitador DP-08-05, es el edificio que produce la reacción del fosfato mono-cálcico con el carbonato de calcio para obtener fosfato bicálcico el cual tiende a precipitarse. Se ubica en la planta de Fosfato Bicálcico, cerca de la puerta posterior adyacente a la Av. Oquendo, del distrito de Callao, Provincia Constitucional de Callao.		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	ÁREA AFECTADA (M2)	CONDICION GLOBAL
DATOS GENERALES Número de pisos: 02 Forma: Rectangular Dimensión: 5.40mx5.40m x 5.75 alto Año construcción: 1989		
COLUMNA Dimensión: 4.6m x 0.40 m x 0.40 m. Cantidad: 4 und (Ejes A, B, C, D, E, F, G, H 1er piso) Área superficial: 50.60 m2	DC-A = 7.54 CE-A = 1.25 Sub. Total = 8.79	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
VIGA Dimensión: rectangular 0.40x0.70m. Cantidad: 10 und Área Superficial: 23.76 m2	DC-A = 6.32 CE-A = 2.26 F-B = 0.95 Sub. Total = 9.53	Extensión: 2 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
LOSA MACIZA e=25cm Dimensión: Rectangular – Incluye volado. Cantidad: 1 und Área Superficial: 29.16 m2	DC-A = 3.21 F-B = 0.47 Sub. Total = 3.68	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2

		Condición Ambiental: critico
TOTAL DE AREA AFECTADA (M2)	DC-A = 17.07 CE-A = 3.51 F-B = 1.42 Sub. Total = 22.14	Extensión: 1 Gravedad: 1 Evolución: 2 Condición Ambiental: critico
PATOLOGÍA ENCONTRADA PANEL FOTOGRAFICO	Delaminación de Concreto (DC) - Figura 103 Corrosión expuesta (CE) - Figura 104	

Tabla 61: Cuantificación de daños por niveles de afectación edificio Precipitador DP -08-05 (ECA - 10). Fuente Propia

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR NIVELES DE AFECTACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO						
Nombre del edificio: Precipitador DP-08-5			Código del edificio		ECA-10	
MAPEO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
CODIGO DE DAÑO POR NIVEL DE DETERIORO	UND	COLUMA	MURO DE CONCRETO	VIGA	LOSA VOLADO	TOTAL
RD-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RD-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DC-A	M2	7.54	0.00	6.32	3.21	17.07
CE-B	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CE-M	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE-A	M2	1.25	0.00	2.26	0.00	3.51
F-B	M2	0.00	0.00	0.95	0.47	1.42
F-A	M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	M2	8.79	-	9.53	3.68	22.00



Figura 103: Delaminación de concreto(DC), (a) Viga exterior Eje A, (b) Columna Eje D/C-3er Piso y Techo losa maciza e=25cm, en Edificio Precipitador DP -08-02 (ECA - 10). Fuente Propia



Figura 104: Corrosión Expuesta (CE), (a) Columna eje E/C, (b) Escalera y (c) Columna Eje A/C, en Edificio Precipitador DP -08-02 (ECA - 10). Fuente Propia

10.3. Anexo 03: Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo NDT y DT en campo realizadas de cada edificio en la planta industrial.

10.3.1. Anexo 3.1: Resultado del ensayo de compresión de testigos de diamantina.

10.3.1.1. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Decantador E-01 (ECA-01).

Tabla 62: Resultados del ensayo de compresión de testigos – ECA 01. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-01				Código del edificio: ECA 01		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	$X_i \geq 85\%f'c$	Min > 75%f'c
ECA 01_C-1	Columna	18.4	18.40	19.93	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 01_C-2	Columna	20.1				
ECA 01_C-3	Columna	21.3				
ECA 01_V-1	Viga	26.2	21.10	23.93	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 01_V-2	Viga	21.1				
ECA 01_V-3	Viga	24.5				
Fecha de Extracción: 23/01/2018						
Fecha de Ensayo: 25/01/2018						



Figura 105: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 01- D1, (b) ECA 01- D2, (c) ECA 01- D3- Edificio Decantador E - 01 (ECA-01). Fuente Propia

10.3.1.2. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto ensayo de compresión de testigo del Edificio Decantador E-02 (ECA-02)

Tabla 63: Resultados del ensayo de compresión de testigos Decantador E-02 – ECA 02. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-02				Código del edificio: ECA 02		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	Xi ≥ 85%f'c	Min > 75%f'c
ECA 02_C-1	Columna	20.00	16.00	17.53	SI CUMPLE	NO CUMPLE
ECA 02_C-2	Columna	16.60				
ECA 02_C-3	Columna	16.00				
ECA 02_V-1	Viga	21.20	18.60	21.73	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 02_V-2	Viga	25.40				
ECA 02_V-3	Viga	18.60				
Fecha de Extracción: 23/01/2018						
Fecha de Ensayo: 25/01/2018						

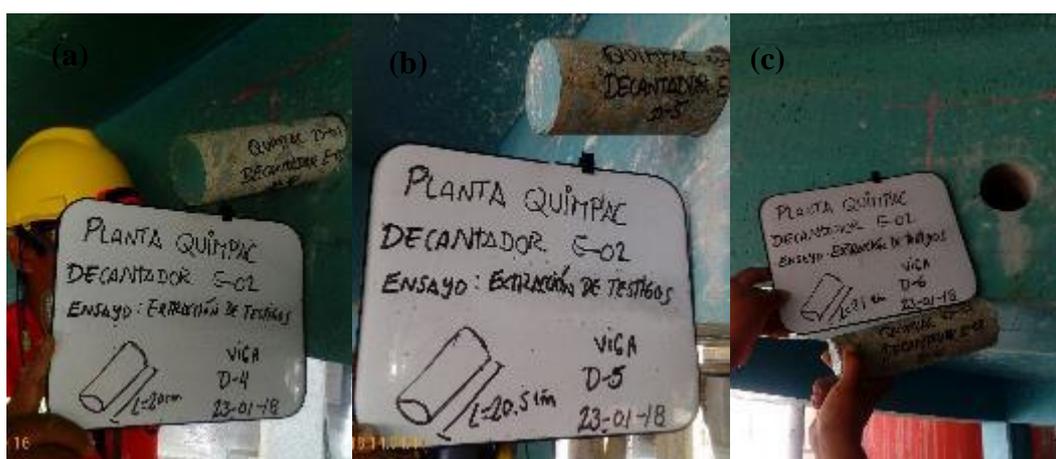


Figura 106: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 02- D1, (b) ECA 02- D2, (c) ECA 02- D3- Edificio Decantador E - 02 (ECA-02). Fuente Propia

10.3.1.3. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Decantador E-04 (ECA-03)

Tabla 64: Resultados del ensayo de compresión de testigos Decantador E-04 – ECA 03.
Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-04				Código del edificio: ECA 03		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	Xi ≥ 85%f'c	Min > 75%f'c
ECA 03_C-1	Columna	22.00	16.00	21.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 03_C-2	Columna	25.10				
ECA 03_C-3	Columna	16.00				
ECA 03_V-1	Viga	18.10	18.10	20.17	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 03_V-2	Viga	23.20				
ECA 03_V-3	Viga	19.20				
Fecha de Extracción: 23/01/2018						
Fecha de Ensayo: 25/01/2018						



Figura 107: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 03- D1, (b) ECA 03- D2, (c) ECA 03- D3- Edificio Decantador E - 04 (ECA-03). Fuente Propia

10.3.1.4. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Decantador E-05 (ECA-04)

Tabla 65: Resultados del ensayo de compresión de testigos Edificio Decantador E-05 – ECA 04. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-05				Código del edificio: ECA 4		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f ^c	Min Ind.	Prom.	Xi ≥ 85%f ^c	Min > 75%f ^c
ECA 04_C-1	Columna	21.40	17.90	21.77	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 04_C-2	Columna	26.00				
ECA 04_C-3	Columna	17.90				
ECA 04_V-1	Viga	22.30	17.90	19.97	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 04_V-2	Viga	17.90				
ECA 04_V-3	Viga	19.70				
Fecha de Extracción: 25/01/2018						
Fecha de Ensayo: 27/01/2018						



Figura 108: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 04- D1, (b) ECA 04- D2, (c) ECA 04- D3- Edificio Decantador E - 05 (ECA-05). Fuente Propia

10.3.1.5. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA-05)

Tabla 66: Resultados del ensayo de compresión de testigos de Hornos De Ácido Clorhídrico – ECA 05. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: HORNOS ACIDO CLORHIDRICO				Código del edificio: ECA 5		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	$X_i \geq 85\%f'c$	Min > 75%f'c
ECA 05_C-1	Columna	20.40	17.00	20.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 05_C-2	Columna	17.00				
ECA 05_C-3	Columna	22.70				
ECA 05_V-1	Viga	20.70	20.70	22.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 05_V-2	Viga	23.50				
ECA 05_V-3	Viga	21.90				
Fecha de Extracción: 31/01/2018						
Fecha de Ensayo:04/02/2018						

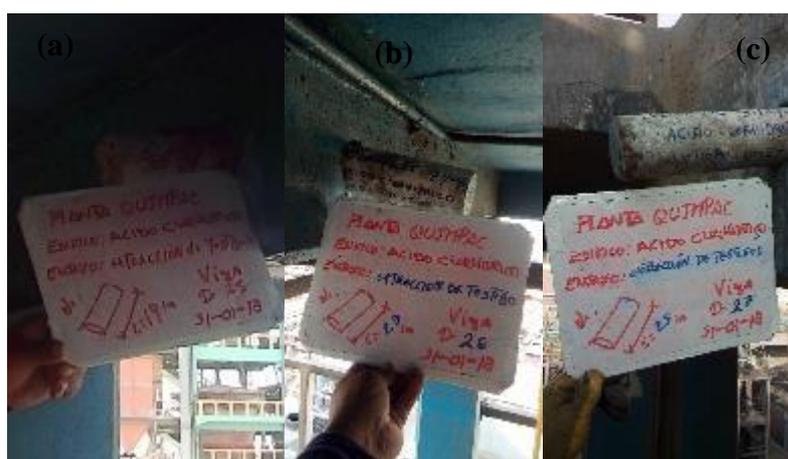


Figura 109: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 05- D3, (b) ECA 05- D3, (c) ECA 05- D3- Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA-05). Fuente Propia

10.3.1.6. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto ensayo de compresión de testigo del Edificio Reactores (ECA-06)

Tabla 67: Resultados del ensayo de compresión de testigos Edificio Reactores – ECA 06. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: REACTORES				Código del edificio: ECA 6		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	Xi ≥ 85%f'c	Min > 75%f'c
ECA 06_C-1	Columna	24.80	19.80	22.50	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 06_C-2	Columna	19.80				
ECA 06_C-3	Columna	22.90				
ECA 06_V-1	Viga	19.90	19.90	22.77	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 06_V-2	Viga	23.30				
ECA 06_V-3	Viga	25.10				
Fecha de Extracción: 31/01/2018						
Fecha de Ensayo: 04/02/2018						



Figura 110: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 06- D1, (b) ECA 06- D2, (c) ECA 06- D3- Edificio Reactores (ECA-06). Fuente Propia

10.3.1.7. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Cloro Liquido (ECA-07)

Tabla 68: Resultados del ensayo de compresión de testigos Edificio Cloro Liquido – ECA 07. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: CLORO LIQUIDO				Código del edificio: ECA 07		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	Xi ≥ 85%f'c	Min > 75%f'c
ECA 07_C-1	Columna	26.10	19.30	23.20	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 07_C-2	Columna	24.20				
ECA 07_C-3	Columna	19.30				
ECA 07_V-1	Viga	20.50	18.80	21.00	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 07_V-2	Viga	23.70				
ECA 07_V-3	Viga	18.80				
Fecha de Extracción: 31/01/2018						
Fecha de Ensayo: 04/02/2018						



Figura 111: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 07- D1, (b) ECA 07- D2, (c) ECA 07- D3- Edificio Cloro Liquido (ECA-07). Fuente Propia

10.3.1.8. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Gris DP-03 (ECA-08)

Tabla 69: Resultados del ensayo de compresión de testigos Edificio Gris DP-03 – ECA 08. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: GRIP DP-03				Código del edificio: ECA 08		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f ^c	Min Ind.	Prom.	Xi ≥ 85%f ^c	Min > 75%f ^c
ECA 08_C-1	Columna	12.10	11.30	13.40	NO CUMPLE	NO CUMPLE
ECA 08_C-2	Columna	16.80				
ECA 08_C-3	Columna	11.30				
ECA 08_V-1	Viga	16.80	12.70	14.17	NO CUMPLE	NO CUMPLE
ECA 08_V-2	Viga	13.00				
ECA 08_V-3	Viga	12.70				
Fecha de Extracción: 23/01/2018						
Fecha de Ensayo: 25/03/2018						

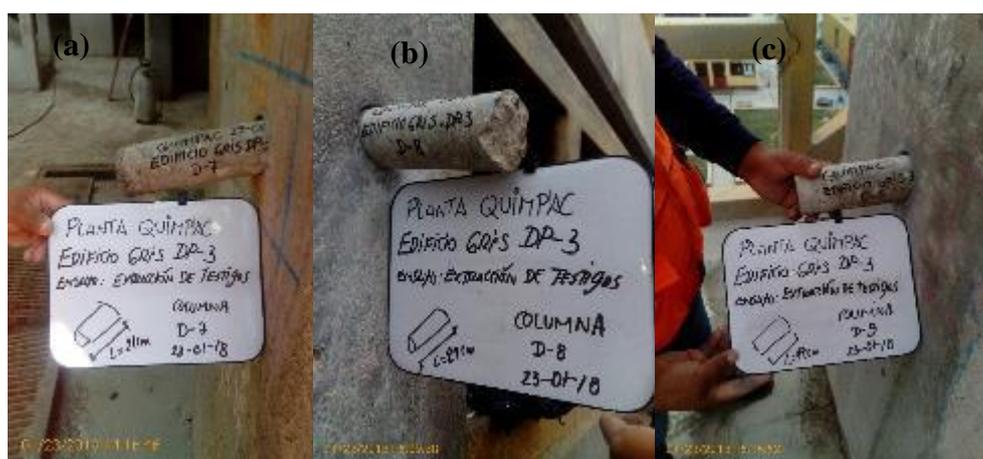


Figura 112: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 08- D1, (b) ECA 08- D2, (c) ECA 08- D3- Edificio Gris (ECA-08). Fuente Propia

10.3.1.9. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Roca Fosfórica (ECA-09)

Tabla 70: Resultados del ensayo de compresión de testigos Roca fosfórica – ECA 09.
Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: ROCA FOSFORICA				Código del edificio: ECA 09		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	$X_i \geq 85\%f'c$	Min > 75%f'c
ECA 09_C-1	Columna	27.90	24.50	28.43	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 09_C-2	Columna	32.90				
ECA 09_C-3	Columna	24.50				
ECA 09_V-1	Viga	17.30	13.90	15.70	NO CUMPLE	NO CUMPLE
ECA 09_V-2	Viga	13.90				
ECA 09_V-3	Viga	15.90				
Fecha de Extracción: 23/01/2018						
Fecha de Ensayo: 25/03/2018						



Figura 113: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 09- D1, (b) ECA 09- D2, (c) ECA 09- D3- Edificio Roca Fosfórica (ECA-09). Fuente Propia

10.3.1.10. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante ensayo de compresión de testigo del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA-10)

Tabla 71: Resultados del ensayo de compresión de testigos Precipitador DP -08-05 – ECA 10. Fuente propia

RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESION DE TESTIGOS DE DIAMANTINA PARA CONCRETO EN COLUMNAS Y VIGAS						
Nombre del Edificio: PRECIPITADOR DP-08-05				Código del edificio: ECA 10		
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)				
		f'c	Min Ind.	Prom.	$X_i \geq 85\%f'c$	Min > 75%f'c
ECA 10_C-1	Columna	34.60	27.40	30.90	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 10_C-2	Columna	27.40				
ECA 10_C-3	Columna	30.70				
ECA 10_V-1	Viga	32.50	27.70	29.80	SI CUMPLE	SI CUMPLE
ECA 10_V-2	Viga	29.20				
ECA 10_V-3	Viga	27.70				
Fecha de Extracción: 28/01/2018						
Fecha de Ensayo:05/02/2018						

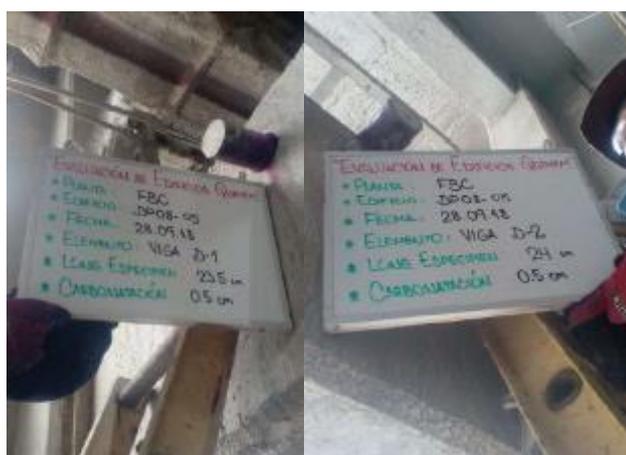


Figura 114: Registro fotográfico de la extracción de diamantinas (a) ECA 10- D1, (b) ECA 10- D2, (c) ECA 10- D3- Precipitador DP -08-05 – ECA 10 (ECA-09). Fuente Propia

10.3.2. Anexo 3.1: Resultado del ensayo cualitativa de carbonatación con el indicador de fenolftaleína

10.3.2.1. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Decantador E-01 (ECA-01).

Tabla 72: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-01 (ECA 01). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-01			Código del edificio: ECA 01
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 01_C-1	Columna	11.50	11.30
ECA 01_C-2	Columna	10.00	
ECA 01_C-3	Columna	12.50	
ECA 01_V-1	Viga	4.50	6.08
ECA 01_V-2	Viga	6.50	
ECA 01_V-3	Viga	7.25	
Fecha de ensayo:23/01/2018			



Figura 115: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicar de fenolftaleína del edificio Decantador E-01 (ECA-01): (a) ECA 01_C1, (b) ECA 01_C2 y (c) ECA 01_C3. Fuente propia

10.3.2.2. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Decantador E-02 (ECA-02)

Tabla 73: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-02 (ECA 02). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-02			Código del edificio: ECA 02
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 02_C-1	Columna	9.50	11.00
ECA 02_C-2	Columna	10.00	
ECA 02_C-3	Columna	13.50	
ECA 02_V-1	Viga	8.00	6.83
ECA 02_V-2	Viga	5.00	
ECA 02_V-3	Viga	7.50	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

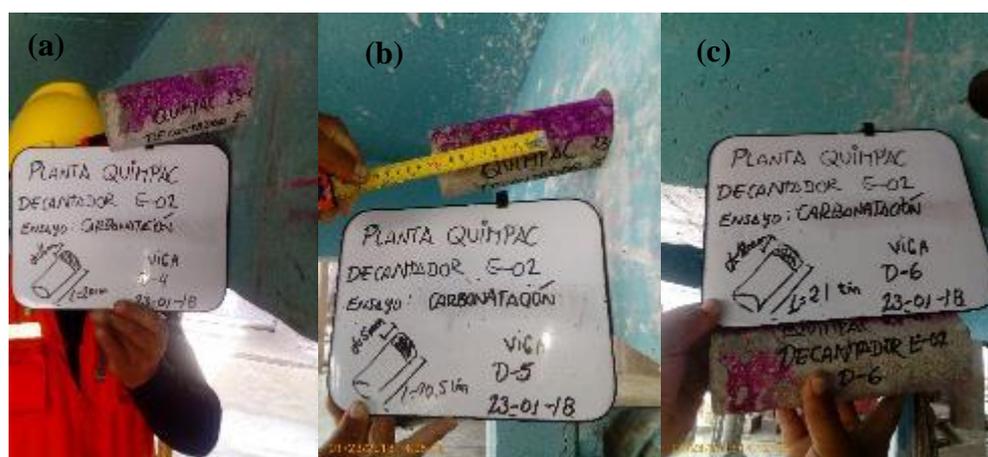


Figura 116: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Decantador E-02 (ECA-02): (a) ECA 02_C1, (b) ECA 02_C2 y (c) ECA 02_C3. Fuente propia

10.3.2.3. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Decantador E-04 (ECA-03)

Tabla 74: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-04 (ECA 03). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-04			Código del edificio: ECA 03
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 03_C-1	Columna	8.20	8.63
ECA 03_C-2	Columna	9.50	
ECA 03_C-3	Columna	8.20	
ECA 03_V-1	Viga	5.00	7.50
ECA 03_V-2	Viga	10.00	
ECA 03_V-3	Viga	7.50	
Fecha de ensayo: 25/01/2018			



Figura 117: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Decantador E-04 (ECA-03): (a) ECA 03_C1, (b) ECA 03_C2 y (c) ECA 03_C3. Fuente propia

10.3.2.4. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Decantador E-05 (ECA-04)

Tabla 75: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Decantador E-05 (ECA 04). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-05			Código del edificio: ECA 04
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 04_C-1	Columna	10.00	10.67
ECA 04_C-2	Columna	10.50	
ECA 04_C-3	Columna	11.50	
ECA 04_V-1	Viga	8.50	8.17
ECA 04_V-2	Viga	5.50	
ECA 04_V-3	Viga	10.50	
Fecha de ensayo: 25/01/2018			



Figura 118: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Decantador E-05 (ECA-04): (a) ECA 04_C1, (b) ECA 04_C2 y (c) ECA 04_C3. Fuente propia

10.3.2.5. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA-05)

Tabla 76: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA 05). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: HORNOS DE ACIDO CLORHIDRICO			Código del edificio: ECA 05
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 05_C-1	Columna	8.00	10.00
ECA 05_C-2	Columna	12.00	
ECA 05_C-3	Columna	10.00	
ECA 05_V-1	Viga	9.00	11.33
ECA 05_V-2	Viga	12.00	
ECA 05_V-3	Viga	13.00	
Fecha de ensayo:31/01/2018			



Figura 119: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA 05): (a) ECA 05_C1, (b) ECA 05_C2 y (c) ECA 05_C3. Fuente propia

10.3.2.6. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Reactores (ECA-06)

Tabla 77: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Reactores (ECA 06). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: REACTORES			Código del edificio: ECA 06
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 06_C-1	Columna	10.50	12.17
ECA 06_C-2	Columna	12.50	
ECA 06_C-3	Columna	13.50	
ECA 06_V-1	Viga	12.00	8.33
ECA 06_V-2	Viga	4.00	
ECA 06_V-3	Viga	9.00	
Fecha de ensayo:31/01/2018			



Figura 120: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Hornos Reactores (ECA 06): (a) ECA 06_C1, (b) ECA 06_C2 y (c) ECA 06_C3. Fuente propia

10.3.2.7. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Cloro Liquido (ECA-07)

Tabla 78: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Cloro Liquido (ECA 07). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: CLORO LIQUIDO			Código del edificio: ECA 07
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 07_C-1	Columna	5.00	9.17
ECA 07_C-2	Columna	10.00	
ECA 07_C-3	Columna	12.50	
ECA 07_V-1	Viga	7.50	9.17
ECA 07_V-2	Viga	10.50	
ECA 07_V-3	Viga	9.50	
Fecha de ensayo:31/01/2018			



Figura 121: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Cloro Liquido (ECA 07): (a) ECA 07_C1, (b) ECA 07_C2 y (c) ECA 07_C3. Fuente propia

10.3.2.8. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Gris DP-03 (ECA-08)

Tabla 79: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Edificio Gris DP-03 (ECA 08). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: GRIS DP 03			Código del edificio: ECA 08
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 08_C-1	Columna	10.00	10.67
ECA 08_C-2	Columna	10.00	
ECA 08_C-3	Columna	12.00	
ECA 08_V-1	Viga	14.50	12.50
ECA 08_V-2	Viga	12.00	
ECA 08_V-3	Viga	11.00	
Fecha de ensayo:23/01/2018			



Figura 122: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Girs DP-03 (ECA 08): (a) ECA 08_C1, (b) ECA 08_C2 y (c) ECA 08_C3. Fuente propia

10.3.2.9. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Roca fosfórica (ECA-09)

Tabla 80: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Roca fosfórica (ECA 09). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: ROCA FOSFORICA			Código del edificio: ECA 09
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 09_C-1	Columna	4.00	5.00
ECA 09_C-2	Columna	6.00	
ECA 09_C-3	Columna	5.00	
ECA 09_V-1	Viga	9.50	9.33
ECA 09_V-2	Viga	8.50	
ECA 09_V-3	Viga	10.00	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

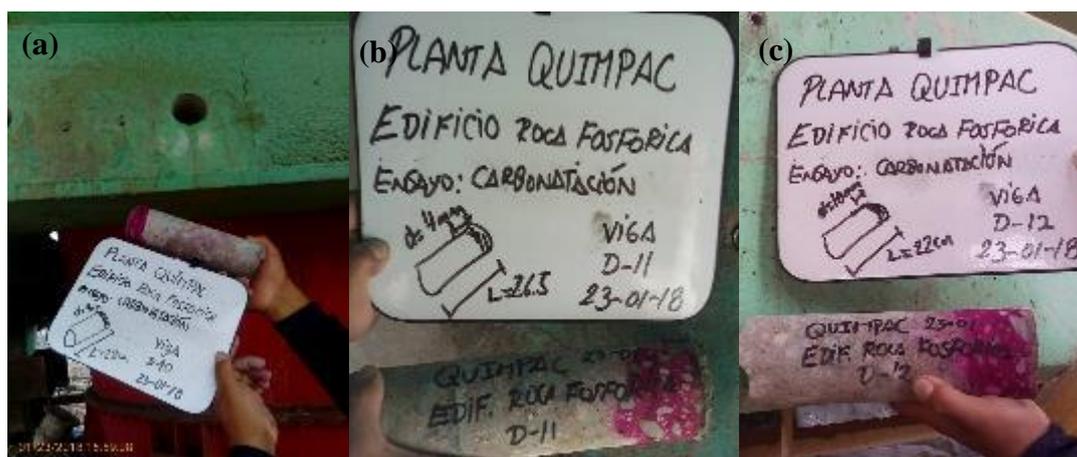


Figura 123: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Roca fosfórica (ECA 09): (a) ECA 09_C1, (b) ECA 09_C2 y (c) ECA 09_C3. Fuente propia

10.3.2.10. Resultados de la evaluación de la calidad del concreto mediante el ensayo cualitativa de carbonatación del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA-10)

Tabla 81: Resultado del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína – Precipitador DP -08-05 (ECA 10). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO CUALITATIVA DE CARBONATACION CON EL INDICADOR DE FENOLFTALEINA DE COLUMNA Y VIGA			
Nombre del Edificio: PRECIPITADOR DP-08-05			Código del edificio: ECA 10
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 10_C-1	Columna	0.00	3.33
ECA 10_C-2	Columna	5.00	
ECA 10_C-3	Columna	5.00	
ECA 10_V-1	Viga	8.50	8.83
ECA 10_V-2	Viga	9.50	
ECA 10_V-3	Viga	8.50	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

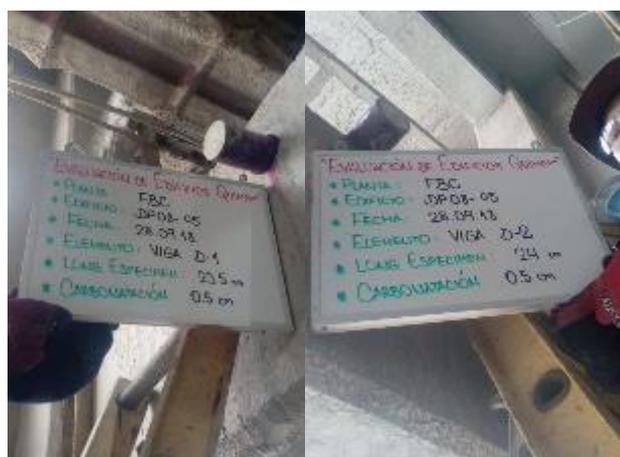


Figura 124: Registro fotográfico del ensayo cualitativa de la carbonatación con el indicador de fenolftaleína del edificio Precipitador DP-08-05 (ECA 10): (a) ECA 10_C1, (b) ECA 10_C2 y (c) ECA 10_C3. Fuente propia

10.4. Anexo 04: Resultados de la evaluación de la calidad del acero en campo realizadas a cada edificio en la planta industrial.

10.4.1. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-01 (ECA-01)

Tabla 82: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-01 (ECA – 01). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-01			Código del edificio: ECA 01
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 10_C-1	Columna	25	22.67
ECA 10_C-2	Columna	23	
ECA 10_C-3	Columna	20	
ECA 10_V-1	Viga	34	32.33
ECA 10_V-2	Viga	30	
ECA 10_V-3	Viga	33	
Fecha de ensayo:22/01/2018			

Tabla 83: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-01 (ECA – 01). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-01			Código del edificio: ECA 01
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 10_C-1	Columna	16.50	16.33
ECA 10_C-2	Columna	14.50	

ECA 10_C-3	Columna	18.00	
ECA 10_V-1	Viga	15.88	15.88
ECA 10_V-2	Viga	15.88	
ECA 10_V-3	Viga	15.88	
Fecha de ensayo:22/01/2018			



Figura 125: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-01 (ECA 01): (a) ECA 01_P1, (b) ECA 01_P2 y (c) ECA 01_P3.
Fuente propia

Tabla 84: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio decantador E-01 (ECA – 01). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-01						Código del edificio:			ECA 01
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 01 _ PE-1	Columna	-233.70	-247.10	-214.30	-261.50	-270.50	-233.60	-243.45	-312.84
ECA 01 _ PE-2	Columna	-336.40	-263.30	-292.50	-334.60	-281.60	-370.00	-313.07	
ECA 01 _ PE-3	Columna	-373.00	-388.30	-379.10	-348.30	-409.20	-394.20	-382.02	
ECA 01 _ PE-4	Viga	-140.50	-158.30	-212.10	-134.30	-155.10	-199.40	-166.62	-204.27
ECA 01 _ PE-5	Viga	-215.90	-217.00	-284.00	-198.80	-208.80	-251.30	-229.30	
ECA 01 _ PE-6	Viga	-310.30	-201.50	-146.50	-303.00	-201.90	-138.10	-216.88	
Fecha de evaluación: 22/01/2018									

10.4.2. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-02 (ECA-02)

Tabla 85: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-02 (ECA – 02). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-02			Código del edificio: ECA 02
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 02_C-1	Columna	22	20.67
ECA 02_C-2	Columna	19	
ECA 02_C-3	Columna	21	
ECA 02_V-1	Viga	39	37.67
ECA 02_V-2	Viga	36	
ECA 02_V-3	Viga	38	
Fecha de ensayo:22/01/2018			

Tabla 86: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-02 (ECA– 02). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-02			Código del edificio: ECA 02
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 02_C-1	Columna	17.50	17.10
ECA 02_C-2	Columna	15.80	

ECA 02_C-3	Columna	18.00	
ECA 02_V-1	Viga	15.88	15.88
ECA 02_V-2	Viga	15.88	
ECA 02_V-3	Viga	15.88	
Fecha de ensayo:22/01/2018			

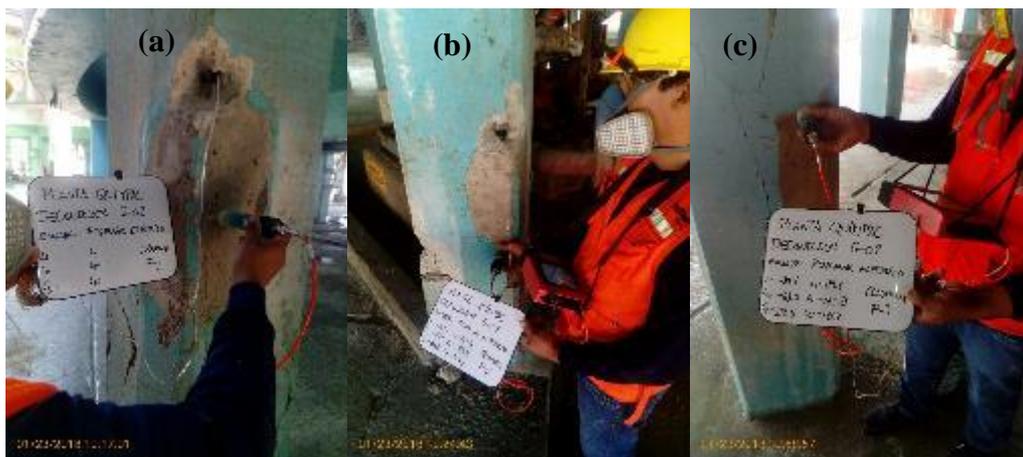


Figura 126: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-02 (ECA 02): (a) ECA 02_P1, (b) ECA 02_P2 y (c) ECA 02_P3.
Fuente propia

Tabla 87: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio decantador E-02 (ECA– 02). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-02						Código del edificio:		ECA 02	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 02 _ PE-1	Columna	-484.70	-378.40	-348.00	-456.00	-362.00	-335.20	-394.05	-434.29
ECA 02 _ PE-2	Columna	-403.70	-397.30	-464.10	-383.40	-394.80	-495.20	-423.08	
ECA 02 _ PE-3	Columna	-537.70	-518.70	-438.80	-501.10	-500.80	-417.30	-485.73	
ECA 02 _ PE-4	Viga	-151.70	-205.50	219.90	-170.10	-203.60	-225.50	-122.75	-136.71
ECA 21 _ PE-5	Viga	-161.75	-220.50	209.65	-180.15	-213.46	-235.75	-133.66	
ECA 02 _ PE-6	Viga	-186.90	-230.50	224.50	-210.24	-223.30	-295.85	-153.72	
Fecha de evaluación: 22/01/2018									

10.4.3. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-04 (ECA-03)

Tabla 88: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-04 (ECA – 03). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-04			Código del edificio: ECA 03
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 03_C-1	Columna	33	28.33
ECA 03_C-2	Columna	25	
ECA 03_C-3	Columna	27	
ECA 03_V-1	Viga	24	25.33
ECA 03_V-2	Viga	25	
ECA 03_V-3	Viga	27	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

Tabla 89: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-04 (ECA– 03). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-04			Código del edificio: ECA 03
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 03_C-1	Columna	15.50	15.17
ECA 03_C-2	Columna	15.50	

ECA 03_C-3	Columna	14.50	
ECA 03_V-1	Viga	15.50	15.46
ECA 03_V-2	Viga	15.88	
ECA 03_V-3	Viga	15.00	
Fecha de ensayo:23/01/2018			



Figura 127: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-04 (ECA 03): (a) ECA 03_P1, (b) ECA 03_P2 y (c) ECA 03_P3.
Fuente propia

Tabla 90: Resultado del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del Edificio decantador E-04 (ECA – 03). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-04						Código del edificio:		ECA 03	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 03 _ PE-1	Columna	-231.20	-219.00	-221.00	-248.20	-238.70	-236.20	-232.38	-221.01
ECA 03 _ PE-2	Columna	-223.50	-230.50	-219.40	-234.30	-243.20	-226.50	-229.57	
ECA 03 _ PE-3	Columna	-192.00	-153.80	-236.50	-182.40	-223.50	-218.30	-201.08	
ECA 03 _ PE-4	Viga	-299.10	-307.70	-310.80	-306.20	-312.40	-307.60	-307.30	-248.87
ECA 03 _ PE-5	Viga	-259.20	-263.10	-271.50	-256.30	-256.30	-256.30	-260.45	
ECA 03 _ PE-6	Viga	-166.20	-170.80	-195.10	-164.80	-168.30	-207.90	-178.85	
Fecha de evaluación: 23/01/2018									

10.4.4. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Decantador E-05 (ECA-04)

Tabla 91: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio decantador E-05 (ECA – 04). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-05			Código del edificio: ECA 04
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 04_C-1	Columna	34	31.67
ECA 04_C-2	Columna	29	
ECA 04_C-3	Columna	32	
ECA 04_V-1	Viga	26	25.67
ECA 04_V-2	Viga	28	
ECA 04_V-3	Viga	23	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

Tabla 92: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio decantador E-05 (ECA – 04). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-05			Código del edificio: ECA 04
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 04_C-1	Columna	15.50	15.75
ECA 04_C-2	Columna	15.88	
ECA 04_C-3	Columna	15.88	

ECA 04_V-1	Viga	15.50	15.75
ECA 04_V-2	Viga	15.88	
ECA 04_V-3	Viga	15.88	
Fecha de ensayo:23/01/2018			



Figura 128: Registro fotográfico del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del edificio Decantador E-05 (ECA 04): (a) ECA 04_P1, (b) ECA 04_P2 y (c) ECA 04_P3.
Fuente propia

Tabla 93: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Decantador E-05 (ECA – 04). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: DECANTADOR E-05						Código del edificio:		ECA 04	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 04 _ PE-1	Columna	-159.20	-246.80	-296.00	-187.10	-237.70	-291.50	-236.38	-240.56
ECA 04 _ PE-2	Columna	-176.50	-201.90	-228.00	-176.90	-209.40	-233.90	-204.43	
ECA 04 _ PE-3	Columna	-290.50	-254.30	-266.50	-303.30	-279.80	-290.70	-280.85	
ECA 04 _ PE-4	Viga	-175.10	-198.10	-268.80	-132.90	-187.20	-244.40	-201.08	-213.27
ECA 04 _ PE-5	Viga	-234.50	-163.00	-212.60	-224.40	-175.00	-191.40	-200.15	
ECA 04 _ PE-6	Viga	-233.00	-269.00	-237.00	-236.50	-253.10	-202.90	-238.58	
Fecha de evaluación: 23/01/2018									

10.4.5. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA-05)

Tabla 94: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA – 05). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: HORNOS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO			Código del edificio: ECA 05
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 05_C-1	Columna	25	25.33
ECA 05_C-2	Columna	27	
ECA 05_C-3	Columna	24	
ECA 05_V-1	Viga	25	25.33
ECA 05_V-2	Viga	28	
ECA 05_V-3	Viga	23	
Fecha de ensayo:23/01/2018			

Tabla 95: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Hornos de Ácido Clorhídrico (ECA – 05). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: HORNOS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO			Código del edificio: ECA 05
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 05_C-1	Columna	15.50	15.73
ECA 05_C-2	Columna	15.80	

ECA 05_C-3	Columna	15.88	
ECA 05_V-1	Viga	15.88	15.53
ECA 05_V-2	Viga	15.20	
ECA 05_V-3	Viga	15.50	
Fecha de ensayo:23/01/2018			



Figura 129: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Hornos de Ácido clorhídrico (ECA 05): (a) ECA 05_P1, (b) ECA 05_P2 y (c) ECA 05_P3. Fuente propia

Tabla 96: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio Hornos De Ácido Clorhídrico (ECA – 05). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: HORNOS DE ACIDO CLORHIDRICO						Código del edificio:		ECA 05	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 05 _ PE-1	Columna	-288.90	-276.20	-301.60	-268.80	-261.20	-282.90	-335.92	-290.96
ECA 05 _ PE-2	Columna	-383.00	-313.50	-301.50	-251.20	-302.60	-285.80	-306.27	
ECA 05 _ PE-3	Columna	-242.30	-223.30	-228.20	-262.00	-214.40	-214.00	-230.70	
ECA 05 _ PE-4	Viga	-241.70	-249.00	-257.30	-236.50	-238.00	-253.50	-246.00	-306.81
ECA 05 _ PE-5	Viga	-258.20	-284.50	-321.00	-240.50	-284.80	-293.50	-280.42	
ECA 05 _ PE-6	Viga	-334.40	-359.20	-456.90	-360.10	-368.40	-485.10	-394.02	
Fecha de evaluación: 23/01/2018									

10.4.6. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Reactores (ECA-06)

Tabla 97: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Reactores (ECA – 06). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: REACTORES			Código del edificio: ECA 06
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 06_C-1	Columna	20	20.33
ECA 06_C-2	Columna	20	
ECA 06_C-3	Columna	21	
ECA 06_V-1	Viga	33	31.33
ECA 06_V-2	Viga	30	
ECA 06_V-3	Viga	31	
Fecha de ensayo:26/01/2018			

Tabla 98: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Reactores (ECA – 06). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: REACTORES			Código del edificio: ECA 06
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 06_C-1	Columna	18.50	17.47
ECA 06_C-2	Columna	16.40	

ECA 06_C-3	Columna	17.50	
ECA 06_V-1	Viga	15.88	15.88
ECA 06_V-2	Viga	15.88	
ECA 06_V-3	Viga	15.88	
Fecha de ensayo:26/01/2018			



Figura 130: Registro fotográfico del ensayo de potencial deemiceldas de refuerzo del edificio Reactores (ECA 06): (a) ECA 06_P1, (b) ECA 06_P2 y (c) ECA 06_P3. Fuente propia

Tabla 99: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio Reactores (ECA – 06). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: REACTORES						Código del edificio:		ECA 06	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 06 _ PE-1	Columna	-319.40	-404.90	-471.20	-445.50	-414.20	-477.60	-422.13	-445.32
ECA 06 _ PE-2	Columna	-242.60	-291.90	-387.20	-238.60	-279.80	-376.70	-302.80	
ECA 06 _ PE-3	Columna	-577.80	-613.60	-630.50	-582.90	-623.60	-637.70	-611.02	
ECA 06 _ PE-4	Viga	-142.60	-140.40	-145.20	-145.80	-143.30	-145.50	-143.80	-174.71
ECA 06 _ PE-5	Viga	-182.00	-185.70	-186.70	-181.90	-184.30	-183.30	-183.98	
ECA 06 _ PE-6	Viga	-202.60	-203.00	-199.00	-193.00	-191.20	-189.30	-196.35	
Fecha de evaluación: 26/01/2018									

10.4.7. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Cloro Liquido (ECA-07)

Tabla 100: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Cloro Liquido (ECA – 07). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: CLORO LIQUIDO			Código del edificio: ECA 07
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 07_C-1	Columna	32	30.33
ECA 07_C-2	Columna	28	
ECA 07_C-3	Columna	31	
ECA 07_V-1	Viga	23	25.33
ECA 07_V-2	Viga	27	
ECA 07_V-3	Viga	26	
Fecha de ensayo:30/01/2018			

Tabla 101: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Cloro Liquido (ECA – 07). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: CLORO LIQUIDO			Código del edificio: ECA 07
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 07_C-1	Columna	15.00	15.46
ECA 07_C-2	Columna	15.50	

ECA 07_C-3	Columna	15.88	
ECA 07_V-1	Viga	15.50	15.75
ECA 07_V-2	Viga	15.88	
ECA 07_V-3	Viga	15.88	
Fecha de ensayo:30/01/2018			



Figura 131: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Cloro Líquido (ECA 07): (a) ECA 07_P1, (b) ECA 07_P2 y (c) ECA 07_P3.

Fuente propia

Tabla 102: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio Cloro Liquido (ECA – 07). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: CLORO LIQUIDO						Código del edificio:		ECA 07	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 07 _ PE-1	Columna	-166.50	-153.00	-180.40	-184.60	-167.20	-193.70	-174.23	-207.44
ECA 07 _ PE-2	Columna	-294.30	-312.50	-360.80	0.00	-318.00	-359.40	-274.17	
ECA 07 _ PE-3	Columna	-168.00	-182.30	-201.20	-155.50	-153.90	-182.60	-173.92	
ECA 07 _ PE-4	Viga	-363.70	-367.10	-381.10	-380.30	-387.80	-401.10	-380.18	-311.46
ECA 07 _ PE-5	Viga	-303.00	-295.00	-288.60	-317.30	-272.00	-305.70	-296.93	
ECA 07 _ PE-6	Viga	-260.00	-242.00	-267.60	-253.70	-250.00	-270.20	-257.25	
Fecha de evaluación: 30/01/2018									

10.4.8. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Gris DP-03 (ECA-08)

Tabla 103: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Gris DP-03 (ECA – 08). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: GRIS DP-03			Código del edificio: ECA 08
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 08_C-1	Columna	20	20.00
ECA 08_C-2	Columna	19	
ECA 08_C-3	Columna	21	
ECA 08_V-1	Viga	18	20.33
ECA 08_V-2	Viga	21	
ECA 08_V-3	Viga	22	
Fecha de ensayo:30/01/2018			

Tabla 104: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Gris DP-03 (ECA – 08). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: GRIS DP-03			Código del edificio: ECA 08
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 08_C-1	Columna	15.88	16.75
ECA 08_C-2	Columna	18.50	
ECA 08_C-3	Columna	15.88	

ECA 08_V-1	Viga	17.50	17.58
ECA 08_V-2	Viga	18.50	
ECA 08_V-3	Viga	16.75	
Fecha de ensayo:30/01/2018			



Figura 132: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Gris DP-03 (ECA 08): (a) ECA 08_P1, (b) ECA 08_P2 y (c) ECA 08_P3. Fuente propia

Tabla 105: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio Gris DP-03(ECA – 08). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: GRIS DP-03						Código del edificio:		ECA 08	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 08 _ PE-1	Columna	-512.30	-444.90	-440.50	-497.30	-433.80	-411.70	-456.75	-410.81
ECA 08 _ PE-2	Columna	-432.20	-433.00	-414.40	-427.60	-428.70	-426.60	-427.08	
ECA 08 _ PE-3	Columna	-349.60	-353.30	-361.00	-334.10	-337.90	-355.60	-348.58	
ECA 08 _ PE-4	Viga	-416.60	-410.10	-388.60	-432.30	-414.30	-384.20	-407.68	-478.76
ECA 08 _ PE-5	Viga	-636.20	-658.20	-750.20	-680.50	-680.50	-680.50	-681.02	
ECA 08 _ PE-6	Viga	-353.70	-334.80	-317.30	-372.50	-372.90	-334.30	-347.58	
Fecha de evaluación: 30/01/2018									

10.4.9. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Roca Fosfórica (ECA-09)

Tabla 106: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Roca Fosfórica (ECA – 09). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: ROCA FOSFORICA			Código del edificio: ECA 09
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 09_C-1	Columna	33	32.67
ECA 09_C-2	Columna	34	
ECA 09_C-3	Columna	31	
ECA 09_V-1	Viga	20	20.50
ECA 09_V-2	Viga	21	
ECA 09_V-3	Viga	20.5	
Fecha de ensayo:24/01/2018			

Tabla 107: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Roca Fosfórica (ECA – 09). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: ROCA FOSFORICA			Código del edificio: ECA 09
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 09_C-1	Columna	15.80	3 15.50
ECA 09_C-2	Columna	15.20	

ECA 09_C-3	Columna	15.50	
ECA 09_V-1	Viga	18.50	17.27
ECA 09_V-2	Viga	15.80	
ECA 09_V-3	Viga	17.50	
Fecha de ensayo:24/01/2018			



Figura 133: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Roca Fosfórica (ECA 09): (a) ECA 09_P1, (b) ECA 09_P2 y (c) ECA 09_P3.

Fuente propia

Tabla 108: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio Roca Fosfórica (ECA – 09). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: ROCA FOSFORICA						Código del edificio:		ECA 09	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 09 _ PE-1	Columna	-100.40	-162.60	-186.90	-101.30	-124.70	-143.50	-136.57	-190.48
ECA 09 _ PE-2	Columna	-251.90	-201.50	-251.90	-233.40	-217.50	-230.10	-231.05	
ECA 09 _ PE-3	Columna	-156.40	-212.10	-221.00	-166.50	-230.10	-236.90	-203.83	
ECA 09 _ PE-4	Viga	-396.40	-408.80	-427.20	-386.50	-408.20	-426.50	-408.93	-355.17
ECA 09 _ PE-5	Viga	-284.70	-274.00	-267.10	-315.40	-303.00	-293.70	-289.65	
ECA 09 _ PE-6	Viga	-363.80	-366.90	-379.80	-353.70	-359.60	-377.80	-366.93	
Fecha de evaluación: 24/01/2018									

10.4.10. Resultados de la evaluación de la calidad acero del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA-10)

Tabla 109: Resultado de la medición del espesor de recubrimiento del acero de refuerzo del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA – 10). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: PRECIPITADOR DP-08-05			Código del edificio: ECA 10
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RECUBRIMIENTO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 10_C-1	Columna	39	37.67
ECA 10_C-2	Columna	38	
ECA 10_C-3	Columna	36	
ECA 10_V-1	Viga	20.5	21.17
ECA 10_V-2	Viga	21	
ECA 10_V-3	Viga	22	
Fecha de ensayo:25/01/2018			

Tabla 110: Resultado de la medición del espesor de diámetro del acero de refuerzo del Edificio Precipitador DP-08-05 (ECA – 10). Fuente propia

RESULTADOS DE LA MEDICION DEL DIAMETRO DEL ACERO DE REFUERZO			
Nombre del Edificio: PRECIPITADOR DP-08-05			Código del edificio: ECA 10
CODIGO DE LA MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO (mm)
ECA 10_C-1	Columna	15.88	15.83
ECA 10_C-2	Columna	15.80	

ECA 10_C-3	Columna	15.80	
ECA 10_V-1	Viga	15.88	15.88
ECA 10_V-2	Viga	15.88	
ECA 10_V-3	Viga	15.88	
Fecha de ensayo:25/01/2018			



Figura 134: Registro fotográfico del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del edificio Precipitador DP-08-05 (ECA 10): (a) ECA 10_P1, (b) ECA 10_P2 y (c) ECA 10_P3. Fuente propia

Tabla 111: Resultado del ensayo de potencial de semiceldas de refuerzo del Edificio Precipitador DP -08-05 (ECA – 10). Fuente propia

RESULTADOS DEL ENSAYO DE POTENCIAL DE SEMICELDAS DE REFUERZO									
Nombre del Edificio: PRECIPITADOR DP-08-05						Código del edificio:		ECA 10	
CODIGO DE MUESTRA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Toma 1 (mV)	Toma 2 (mV)	Toma 3 (mV)	Toma 4 (mV)	Toma 5 (mV)	Toma 6 (mV)	PE PARCIAL (mV)	PE PROM (mV)
ECA 10 _ PE-1	Columna	-186.40	-194.30	-213.30	-180.50	-200.80	-212.60	-197.98	-152.16
ECA 10 _ PE-2	Columna	-97.60	-105.60	-112.60	-100.70	-102.60	-114.70	-105.63	
ECA 10 _ PE-3	Columna	-155.30	-152.60	-146.50	-154.40	-156.20	-152.10	-152.85	
ECA 10 _ PE-4	Viga	-375.50	-364.40	-346.30	-376.50	-370.90	-342.60	-362.70	-362.32
ECA 10 _ PE-5	Viga	-401.00	-379.80	-376.70	-403.00	-395.20	-387.10	-390.47	
ECA 10 _ PE-6	Viga	-346.30	-356.20	0.00	-314.00	-320.10	-332.30	-333.78	
Fecha de evaluación: 25/01/2018									