

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Título del trabajo

**MODELADO Y SIMULACIÓN DEL IMPACTO DE USOS DE  
INHIBIDORES DE CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE  
HORMIGÓN ARMADO**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

Sr. Jefferson Leonel Guanoluisa Santos

Sr. Andrés Nicolás Tenempaguay Palate

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a Dios, a mis padres, mi abuela, mis hermanos y todas las personas que de alguna forma contribuyeron a mi formación hasta este punto.

Jefferson Guanoluisa Santos

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios, por darme la capacidad para proseguir con la carrera hasta su culminación, a mis padres, por darme su apoyo incondicional y por darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución, a mis hermanos y amigos, por darme un soporte emocional para poder formarme como profesional y como persona integra.

Andrés Tenempaguay Palate

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios , a mis padres y hermanos, por darme la fuerza para poder reponerme ante las adversidades de la vida y levantarme una vez más, para terminar con éxito este proyecto de investigación. Agradezco a los docentes y compañeros que formaron parte de mi formación académica. Al grupo 2.0

Jefferson Guanoluisa Santos



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme el conocimiento para poder cumplir esta meta académica. A mis padres y hermanos, por tenerme la paciencia y ser mi apoyo moral y económico durante estos 5 años. Y por último, pero no menos importante, quiero agradecer al “GDAG”, mi grupo de amigos de la universidad conformado por: Steven Araujo, Kenny Camba, Jordan Castro, César Vera, Alejandro Briones, Ney Canales, Liliana Franco, Evelyn Nohelia, Isaac Gusqui y Génesis Demera, me faltan palabras para describir todo el apoyo emocional que recibí de dicho grupo, gracias por tenerme paciencia en mis locuras, en mis intrépidas ideas y por mi forma de ser, quiero agradecerles por tanto y a la vez disculparme por darles tan poco, en fin solo agradecer que hayan formado parte de mi vida académica y personal.

Andrés Tenempaguay Palate

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jefferson Leonel Guanoluisa Santos y Andrés Nicolás Tenempaguay Palate* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Jefferson Guanoluisa  
Santos

**Teléfono:**

0988671360

**Email:**

jeflegua@hotmail.com



Andrés Tenempaguay  
Palate

**Teléfono:**

0989325244

**Email:**

andniten@espol.edu.ec

# EVALUADORES

.....  
**Ing. Danilo Dávila MSc.**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Ing. Guillermo Muñoz MSc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Las estructuras diseñadas con hormigón armado expuestas a un ambiente salino ven mermado su desempeño y su vida útil debido a una continua exposición a los cloruros tal como en el caso de muelles, edificios, casas, malecones y otros, los cuales terminan prontamente su nivel de servicio debido a la corrosión. Los estudios entorno a la corrosión es tema de gran interés a nivel mundial se han desarrollado mecanismos tanto de laboratorio, como de campo que permita obtener relaciones entre la corrosión y el tipo de material.

Para poder predecir mediante modelos matemáticos para calcular el tiempo en el que la estructura mantenga un buen nivel de desempeño, surgen la necesidad de implementar software que sirvan de apoyo para este tipo de escenario. El programa a utilizar en este proyecto se denomina Service Life 365.

El programa Service Life 365 está basado posee una base de información recabada a través de ensayos de laboratorios, normativas y publicaciones, las cuales han permitido encontrar la relación que tiene la composición de la mezcla de hormigón con el tiempo de vida útil. Una de la característica del programa es que permite simular que pasaría si se utilizara inhibidores de corrosión, cuál sería su impacto tanto en la vida útil como en el costo. El programa también permite contrastar con un escenario sin inhibidor de esta forma el usuario tiene una base para la toma decisiones. El enfoque de este proyecto es la evaluar diferentes estructuras de una de las ciudades con mayor incidencia de cloruros en el Ecuador, la ciudad de Manta, esta evaluación dio como resultado un gran incremento en la vida útil al implementarse el inhibidor de corrosión y bajo el criterio costo –beneficio se determinó una dosificación con determinados porcentajes de material cementante que mejorarían en aproximadamente un 50% el rendimiento de las estructuras de hormigón con una relación agua/cemento menores al 0.50.

**Palabras claves:** corrosión, service life 365, vida útil, inhibidores de corrosión, costos.

## **ABSTRACT**

*Structures designed with reinforced concrete exposed to a saline environment see their performance and useful life diminished due to a continuous exposure to chlorides such as in the case of docks, buildings, houses, seawalls and others, which soon end their level of service due to corrosion. Corrosion studies are a topic of great interest worldwide, and mechanisms have been developed both in the laboratory and in the field to obtain relationships between corrosion and the type of material.*

*In order to predict through mathematical models to calculate the time in which the structure maintains a good level of performance, there is a need to implement software to support this type of scenario. The program to be used in this project is called Service Life 365.*

*The Service Life 365 program is based on a database of information gathered through laboratory tests, standards and publications, which have allowed finding the relationship between the composition of the concrete mix and the service life. One of the features of the program is that it allows to simulate what would happen if corrosion inhibitors were used, what would be their impact on both service life and cost. The program also allows to contrast with a scenario without inhibitor so that the user has a basis for decision making. The focus of this project is to evaluate different structures in one of the cities with the highest incidence of chlorides in Ecuador, the city of Manta. This evaluation resulted in a great increase in the useful life when implementing the corrosion inhibitor and under the cost-benefit criterion a dosage was determined with certain percentages of cementitious material that would improve the performance of concrete structures with a water/cement ratio lower than 0.50 by approximately 50%.*

*Keywords: corrosion, 365 service life, service life, corrosion inhibitors, costs.*

## ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	7
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VIII
SIMBOLOGÍA .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	16
1.    Introducción.....	16
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema.....	3
1.3    Objetivos.....	3
1.3.1    Objetivo General .....	3
1.3.2    Objetivos Específicos .....	3
1.4    Antecedentes.....	3
1.5    Marco teórico .....	4
1.5.1    Corrosión del acero de refuerzo del hormigón armado .....	4
1.5.2    Transporte de cloruro en hormigón .....	7
1.5.3    Durabilidad del hormigón .....	8
1.5.4    Porosidad de la pasta de cemento .....	13
1.5.5    Porosidad del concreto.....	13
1.5.6    Relación agua/cemento.....	14
1.5.7    Resistencia del hormigón .....	14

1.5.8	Inhibidores de corrosión .....	15
1.5.9	Aditivos inhibidores de corrosión.....	16
1.5.10	Service Life 365 .....	18
1.5.11	Modelación numérica de ingreso de cloruro.....	22
1.5.12	Humo de Silice .....	24
1.5.13	Puzolana (Ceniza Volante).....	26
1.6	Análisis de alternativas .....	31
1.7	Costos.....	34
1.8	Cronograma de Trabajo.....	34
CAPÍTULO 2.....		35
2.	Metodología .....	35
2.1	Parámetros de estudio.....	35
2.1.1	Relación agua – cemento (a/c) .....	35
2.1.2	Profundidad de refuerzo.....	35
2.1.3	Humo de Sílice.....	38
2.1.4	Ceniza Volante.....	38
2.1.5	Escoria .....	38
2.1.6	Inhibidor de corrosión.....	39
2.1.7	Máxima concentración de cloruros en la superficie de hormigón.....	39
2.2	Casos de estudios .....	40
2.3	Procedimiento.....	42
2.3.1	Definición de parámetros económicos .....	45
2.3.2	Exposición.....	45
2.3.3	Mezclas de concreto .....	47
2.3.4	Gráfico de vida útil.....	48
2.3.5	Costos individuales .....	53

2.3.6	Costo del ciclo de vida .....	54
CAPÍTULO 3	.....	59
3.	MEMORIA TÉCNICA .....	59
3.1	Información General .....	59
3.2	Ubicación Geográfica.....	59
3.3	Clima.....	60
3.4	Fundamentación Teórica .....	61
3.4.1	Factor de importancia.....	61
3.4.2	Límites permisibles de las derivas de piso .....	61
3.4.3	Zonificación Sísmica .....	62
3.4.4	Geología del Ecuador.....	63
3.4.5	Espectro de diseño Sísmico.....	64
CAPÍTULO 4	.....	70
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	70
4.1	Temperaturas de la ubicación de análisis.....	70
4.2	Máxima concentración superficial Cs .....	71
4.3	Mezcla de hormigón propuesta.....	71
4.4	Secciones de análisis .....	72
4.5	Análisis utilizando el software Service Life 365 .....	72
4.5.1	Definición de secciones en el programa.....	72
4.5.2	Cálculo de la vida útil de las secciones escogidas .....	73
4.6	Análisis utilizando el código.....	74
4.6.1	Definición de las secciones en el código.....	74
4.6.2	Cálculo de la vida útil de las secciones escogidas .....	75
4.7	Comparativa entre resultados del software Service Life 365 y la codificación propuesta.....	76



CAPÍTULO 5.....	77
5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	77
5.1 Análisis de costos de casos de estudio .....	77
5.2 Análisis de costos de alternativas de solución.....	77
5.3 Análisis de costos de los casos de estudio.....	80
5.3.1 Edificio Txopituna (Manta).....	80
5.3.2 Condominio Torre 5 (Daule).....	81
5.3.3 Residencia Barcia Torres (Manta).....	82
5.3.4 Residencia Familia Zambrano Arroyave (Manta).....	83
5.4 Análisis de costos de la dosificación propuesta.....	85
CAPÍTULO 6.....	87
6. Evaluación de impacto ambiental.....	87
6.1 Objetivo General.....	87
6.2 Objetivos Específicos.....	87
6.3 Descripción del producto. ....	87
6.4 Impacto ambiental del inhibidor de corrosión MCI 2005 Patentado.....	90
6.4.1 Impacto en el medio físico.....	90
6.4.2 Impacto en el medio biótico.....	90
6.4.3 Impacto en el medio humano .....	90
6.5 Impacto ambiental del inhibidor de corrosión Sika CNI .....	90
6.5.1 Impacto ambiental durante la obtención de materia prima.....	91
6.5.2 Impacto ambiental durante la aplicación del producto.....	92
6.5.3 Impacto ambiental durante la disposición final.....	92
6.6 Clasificación SGA .....	93
6.7 Medidas de prevención en la aplicación de ambos inhibidores .....	96
6.8 Conclusiones y recomendaciones .....	99

CAPÍTULO 7 .....	101
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	101
7.1 Conclusiones .....	101
7.2 Recomendaciones .....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS .....	113

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACI	Instituto Americano del Concreto
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
MSDS	Hoja de Datos de Seguridad de Materiales

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
m/s	Metros por segundo
Km/h	Kilómetros por hora
mm	Milimetro
kg	Kilogramo
\$/m <sup>3</sup>	Costo por metro cubico
l/m <sup>3</sup>	Litros por metro cúbico
mg/m <sup>2</sup> d	Miligramo por metro cuadrado por cada día
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Proceso de corrosión por carbonatación [JGF Ingeniería y Construcción SAC, 2020] .....	5
Figura 1.2.- Proceso de corrosión por acción de cloruros [Paredes et al., 2013].....	6
Figura 1.3.- Fases de iniciación y propagación de la corrosión, [Tuutti, 1982] .....	8
Figura 1.4.- Modelo de durabilidad propuesto para un elemento estructural de hormigón armado, [Torres Acosta & Martínez Madrid, 2006].....	9
Figura 1.5.- Gráfica que representa la relación entre la penetración de ataque de la corrosión en la varilla vs el agrietamiento en la superficie de la muestra de hormigón, [Andrade et al (1993)] .....	10
Figura 1.6.- Base de modelos numéricos para la estimación del ancho de grieta a través del tiempo, [Díaz, (2012)].....	12
Figura 1.7.- Gráfica referencial Esfuerzo vs Deformación de probetas ensayadas con diversas relaciones agua/cemento [Boletín de Ingeniería EB201, 2004]. .....	14
Figura 1.8.- Influencia de la relación Agua/Cemento en la resistencia del hormigón [Guevara Fallas et al., 2012]. .....	15
Figura 1.9.- Efecto del Humo de Sílice sobre el Coeficiente de Difusión, [Bentz & Thomas (2012)].....	25
Figura 1.10.- Efecto de la ceniza volante y la escoria al coeficiente de difusión de cloruros, [Bentz & Thomas, 2012].....	30
Figura 1.11.- Alternativa 1, [Elaboración propia].....	32
Figura 1.12.- Alternativa 2, [Elaboración propia].....	32
Figura 1.13.- Alternativa 3, [Elaboración propia].....	33
Figura 1.14.- Alternativa 4, [Elaboración propia].....	33
Figura 1.15.- Alternativa 5, [Elaboración propia].....	33
Figura 1.16.- Alternativa 6, [Elaboración propia].....	33
Figura 1.17.- Alternativa 7, [Elaboración propia].....	34
Figura 1.18.- Alternativa 8, [Elaboración propia].....	34
Figura 2.1 Gráfica de la variación de la Resistencia a la Compresión vs la relación agua/cemento, [Elaboración propia] .....	35

Figura 2.2 .- Primer caso de estudio .....	40
Figura 2.3.- Segundo caso de estudio .....	41
Figura 2.4.- Tercer caso de estudio .....	41
Figura 2.5.- Cuarto caso de estudio.....	42
Figura 2.6.- Página principal de del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021].....	42
Figura 2.7.- Pantalla de inicio del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	43
Figura 2.8.- Interfaz de proyecto del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021].....	44
Figura 2.9.- Tipos de estructuras del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021].....	45
Figura 2.10.- Pestaña de EXPOSICIÓN del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021].....	46
Figura 2.11.- Pestaña de MEZCLA DE CONCRETO en el software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	48
Figura 2.12 .- Vida útil de cada alternativa obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	48
Figura 2.13 .- Concentración de cloruros en la sección transversal de cada alternativa, [Elaboración propia, 2021]. .....	49
Figura 2.14 .- Gráfica de concentración de cloruros vs profundidad de penetración, [Elaboración propia, 2021]. .....	49
Figura 2.15 .- Gráfica de concentración de cloruros en la superficie de la varilla de refuerzo a lo largo del periodo de análisis, [Elaboración propia, 2021].....	50
Figura 2.16 .- Gráfica de difusión de cloruros vs tiempo obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	50
Figura 2.17 .- Gráfica de concentración de cloruros en la superficie obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021].....	51
Figura 2.18 .- Gráfica de la probabilidad del periodo de iniciación obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	51
Figura 2.19.- Gráfica de acumulación del periodo de iniciación por año obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021].....	52

Figura 2.20 .- Gráfica de variación de iniciación obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	52
Figura 2.21 .- Costos fijos de los hormigones de cada alternativa, [Elaboración propia, 2021]. .....	53
Figura 2.22 .- Costos predeterminados para el elemento de hormigón armado, [Elaboración propia, 2021] .....	53
Figura 2.23.- Costos de la estructura de hormigón armado durante el periodo de análisis, [Elaboración propia, 2021]. .....	54
Figura 2.24 .- Costos del ciclo de vida de ambas alternativas, [Elaboración propia, 2021]. .....	54
Figura 2.25 .- Gráfica de los costos constantes obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	55
Figura 2.26.- Gráfica de los costos acumulativos constantes obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	55
Figura 2.27.- Gráfica de los costos actuales obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	56
Figura 2.28.- Gráfica de los costos corrientes acumulados obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	56
Figura 2.29 .- Reporte de servicio de vida, [Elaboración propia, 2021]. .....	57
Figura 2.30.- Reporte del costo del ciclo de vida, [Elaboración propia, 2021] .....	58
Figura 3.1 .- Vivienda de análisis, [Elaboración propia, 2021] .....	59
Figura 3.2.- Mapa de isotérmias , [INAMHI, 2012]. .....	60
Figura 3.3 .- Mpa de isoyetas, [INAMHI, 2012] .....	60
Figura 3.4.- Velocidad media y frecuencias de viento, [INAMHI, 2012] .....	61
Figura 3.5.- Factor de importancia, [Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015] .....	61
Figura 3.6.- Derivas inelásticas máximas permitidas, [Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015] .....	62
Figura 3.7.- Mapa para diseño sísmico, [NEC-SE-DS, 2015] .....	62
Figura 3.8.- Valores de Zona Sísmica y Caracterización, [NEC-SE-DS, 2015] .....	63
Figura 3.9.- Tipos de suelo y factor de sitio ( <b>F<sub>a</sub></b> ), [NEC-SE-DS, 2015] .....	63
Figura 3.10.- Tipos de suelo y factor de sitio ( <b>F<sub>d</sub></b> ), [NEC-SE-DS, 2015] .....	63

Figura 3.11.- Tipos de suelo y factor de sitio ( $F_s$ ), [NEC-SE-DS, 2015].....	64
Figura 3.12.- Espectro de respuesta elástico de aceleraciones, [NEC-SE-DS, 2015] .....	64
Figura 3.13.- Sección típica de losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]....	67
Figura 4.1.- Definición de parámetros de entrada para la columna C2 en el programa Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	72
Figura 4.2.- Definición de parámetros de entrada para la columna C3 en el programa Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	73
Figura 4.3.- Gráfica del periodo de ciclo de vida de la columna C2 obtenida del Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	73
Figura 4.4 Gráfica del periodo de ciclo de vida de la columna C3 obtenida del Service Life 365, [Elaboración propia, 2021] .....	74
Figura 6.1.- Extractos de plantas como inhibidores de corrosión, [Verma et al., 2018] .....	88



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 .- Requisitos físicos de las puzolanas naturales o calcinadas, [INEN 494, 1980].....	27
Tabla 1.2.- Requisitos químicos de las puzolanas naturales o calcinadas [INEN 494, 1980].....	27
Tabla 1.3 .- Requerimientos Físicos de las clases de puzolanas, [ASTM, 2008].....	28
Tabla 1.4.- Requerimientos Físicos Suplementarios Opcionales de las clases de puzolanas, [ASTM, 2008].....	28
Tabla 1.5.- Requerimientos Químicos de las clases de puzolanas, [ASTM, 2008]....	29
Tabla 1.6.- Efecto de la ceniza volante y la escoria al coeficiente de difusión de cloruros, [Bentz & Thomas, 2012].....	30
Tabla 2.1 .- Requisitos para el concreto según la clase de exposición, [ACI, 2018]..	36
Tabla 2.2.-Categorías y clases de exposición, [ACI, 2018].....	36
Tabla 2.3 .- Recubrimiento especificado para elementos de concreto construidos en sitio no preesforzado, [ACI, 2018].....	37
Tabla 2.4 .- Valores promedios de deposición de cloruros para cada sitio de exposición, [Guerra et al., 2016].....	39
Tabla 2.5 .- Valores de deposición de sales de iones de cloruro obtenidos por el método de la vela húmeda en varias zonas del perfil costanero del Ecuador, [Guerra et al., 2016].....	39
Tabla 3.1 .- Parámetros de entrada para el análisis estructural, [Elaboración propia, 2021].....	65
Tabla 3.2.- Peso propio de la losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021] .....	66
Tabla 3.3.- Carga muerta de la losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]....	66
Tabla 3.4.- Cargas para la losa de planta y cubierta, [Elaboración propia, 2021].....	67
Tabla 3.5.- Sección final de la losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021] .....	67
Tabla 3.6.- Cálculo de la primera losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]	67
Tabla 3.7.- Cálculo de la segunda losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]	68
Tabla 3.8 Cálculo del refuerzo de vigas, [Elaboración propia, 2021] .....	68
Tabla 3.9.- Cálculo del refuerzo en las columnas, [Elaboración propia, 2021] .....	69

Tabla 4.1.- Temperaturas medias mensuales de la provincia de Portoviejo, [INAMHI, 2012].....	70
Tabla 4.2.- Dosificación propuesta de 25 MPa, [Elaboración propia, 2021].....	71
Tabla 4.3.- Secciones de vigas escogidas para análisis, [Elaboración propia, 2021]	72
Tabla 4.4.- Secciones de columnas escogidas para el análisis, [Elaboración propia, 2021].....	72
Tabla 5.1 Resumen de los casos de estudio, [Elaboración propia, 2021].....	77
Tabla 5.2 Declaración de alternativas, [Elaboración propia, 2021] .....	78
Tabla 5.3 Costo total de un m <sup>3</sup> de hormigón correspondiente a la Alternativa X [Elaboración propia, 2021] .....	78
Tabla 5.4 Costo total de un m <sup>3</sup> de hormigón correspondiente a la Alternativa Y [Elaboración propia, 2021] .....	79
Tabla 5.5 .- Análisis de costos del caso de estudio 1, [Elaboración propia, 2021].....	80
Tabla 5.6.- Análisis de costos del caso de estudio 2, [Elaboración propia, 2021].....	81
Tabla 5.7 .- Análisis de costos del caso de estudio 3, [Elaboración propia, 2021].....	82
Tabla 5.8.- Análisis de costos del caso de estudio 4, [Elaboración propia, 2021].....	83
Tabla 5.9.- Análisis de costos de elemento estructural con la dosificación propuesta, [Elaboración propia, 2021] .....	85
Tabla 6.1 .- Comparación de la clasificación SGA de los inhibidores con base a nitrito de calcio y los inhibidores con base a aminas y éteres, [Elaboración propia, 2021].	95
Tabla 6.2 .- Tabla comparativa de las medidas de prevención en la aplicación de los inhibidores de corrosión MCI 2005 patentado y Sika CNI, [Elaboración propia, 2021] .....	96

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El deterioro por corrosión de las estructuras de hormigón armado representa un problema a nivel mundial que ocasiona pérdidas económicas elevadas, se estiman en el 0,25% del PNB, lo que corresponde a \$ 16.6 mil millones al año, para conservar su funcionalidad, una vez alcanzada su vida útil (Kenny & Katz, 2020). Por consiguiente, ha despertado un gran interés de investigación a fin de establecer un monitoreo, predicción, prevención y rehabilitación del daño del acero por corrosión (Guerrero et al., 2014).

Las microgrietas dentro del hormigón y la concentración de tensiones de tracción entre el hormigón y las armaduras de acero son las principales consecuencias producidas por un aumento del volumen del acero de refuerzo en forma de óxido, debido a los ataques de cloruros y carbonatación, generado por la corrosión. Este proceso genera diversos tipos de daños, como el deterioro del revestimiento de hormigón, la reducción de la resistencia a la compresión del hormigón, la reducción de la eficacia de confinamiento de las armaduras transversales y el pandeo de las barras longitudinales (Di Sarno & Pugliese, 2020).

Sin embargo, en muchos casos, la corrosión del acero de refuerzo inicia antes de que la estructura alcance este periodo, lo que ha propiciado que estructuras relativamente nuevas (menor a 10 años) disminuyan notablemente su periodo de servicio, al estar expuestas a entornos agresivos con altas concentraciones de cloruros y sulfatos, los cuales, junto con el manejo inadecuado de materiales, mala construcción, faltas de normas por durabilidad, etc (Torres et al., 2010).

Los costos de mantenimiento y la extensión de la vida útil de la estructuras de hormigón armado es primordial, en consecuencia se ha implementado la técnica RUL (Remaining Useful Life) para valorar la resistencia y el advenimiento de las fallas. Al obtener un pronóstico del desempeño con la información de degradación persistente en la estructura, conlleva una mayor apreciación del futuro estado de las edificaciones (Tra et al., 2021).

Actualmente, existen varios software que calculan el periodo de vida útil del hormigón armado considerando la aplicabilidad de aditivos inhibidores de corrosión en la mezcla de hormigón fresco durante la construcción de la estructura. Un software de bastante utilidad para este tipo de casos es el Service Life 365, el cual permite predecir el periodo de servicio de un elemento estructural de hormigón armado, considerando características propias de este (recubrimiento,  $f_c$  del concreto,  $f_y$  del acero de refuerzo, uso de aditivos inhibidores de corrosión) y características propias del entorno (temperatura, % de presencia de cloruros, entre otros), y además permite determinar los costos de mantenimiento que se generarían a largo plazo si el elemento de hormigón armado posee o no aditivos que mejoren su resistencia a la corrosión (Bentz & Thomas, 2012).

La investigación realizada en la presente tesis propone una metodología que permite analizar, comparar y evaluar los efectos de la corrosión en estructuras de hormigón armado utilizando el inhibidor Sika CNI, empleando distintas dosificaciones de hormigón, considerando la relación costo beneficio y las normativas estructurales pertinentes (ACI). Se pretende encontrar la dosificación, aditivo, costo y criterio estructural óptimo para edificaciones expuestas a un ambiente salino. El programa Service Life 365, ComSol, Python y Etabs, fueron el soporte técnico para la obtención de los resultados.

## **1.1 Descripción del problema**

Las estructuras de hormigón armado presentan degradación en sus propiedades físicas (cuando están expuestas a un ambiente salino provocando corrosión) afectando sus propiedades mecánicas y por ende estabilidad de las edificaciones. El presente documento estudia diferentes dosificaciones, su incidencia en el periodo de vida útil, en los costos a futuro basado en estadísticas y aproximaciones numéricas

Se requiere determinar el grado de corrosión del acero de refuerzo en la vida útil de estructuras de Hormigón Armado usando el software Service Life 365.

## **1.2 Justificación del problema**

En la actualidad es importante emplear de manera correcta los materiales de construcción, aprovechando las fortalezas de cada uno, por este motivo el proyecto presentado a continuación se enfoca en la optimización de los materiales considerando la vida útil de las edificaciones y los costos implicados tanto en su construcción como en su mantenimiento.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar el grado de corrosión del acero de refuerzo en la vida útil de estructuras de Hormigón Armado usando el software Service Life 365.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Modelar estructuras de hormigón armado en el software Service Life 365 comparando diversas situaciones.
2. Establecer el tiempo de vida útil ganado en las estructuras con inhibidor de corrosión que aseguran condiciones de diseño.
3. Realizar un análisis costo – beneficio de las estructuras con y sin inhibidores de corrosión.

## **1.4 Antecedentes**

En la década 1960-1970, la corrosión solo era un tema de interés marginal. El uso de técnicas electroquímicas fue un hito que permitió, desde la década de 1970, estudiar el efecto corrosivo. En 1980, el estudio de la vida útil comenzó, aunque no fue de interés general hasta la siguiente década. Desde 1990, los Comités de la RILEM y el Programa Iberoamericano sobre Corrosión de CYTED ampliaron el conocimiento tan ampliamente que en el siglo XXI el tema genera mucho interés en investigación (Carmen Andrade, 2018).

A pesar de los casos de gran durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones adversas, el motivo más común de degradación, por ende de poca durabilidad, es la corrosión del acero de refuerzo. En revisiones y análisis de casos prácticos de deterioros prematuros, se llegó a la conclusión que entre el 70 y 90%,

la corrosión fue el mecanismo de degradación dominante (Song & Saraswathy, 2006).

El artículo del periódico El Diario (2018), muestra el caso del edificio Municipal del cantón Santa Ana, en Manabí. Dicho edificio fue sometido a un proceso de reforzamiento estructural en las columnas, ya que el acero de refuerzo se encontraba corroído disminuyendo la resistencia de las columnas. Dicho reforzamiento demoró 90 días y tuvo un costo total de 55.476 dólares.

Las obras civiles con cercanías al mar están expuestas a un ambiente salino, la brisa presente en estas localidades acarrea un importante contenido de humedad, el cual, naturalmente, presenta una gran concentración de cloruros. De este modo, las estructuras que no están en contacto directo con el mar, sufren sus embates dependiendo de la concentración en el agua de mar, siendo así, más o menos agresivo; por lo que existe una diferencia en el potencial dañino entre las ciudades de la costa.

## **1.5 Marco teórico**

### **1.5.1 Corrosión del acero de refuerzo del hormigón armado**

El hormigón armado es uno de los materiales más versátiles que existe en la industria de la construcción, debido a sus propiedades mecánicas, su durabilidad, sus diversas formas de aplicación junto con su costo relativamente bajo, en comparación con materiales como el acero estructural; sin embargo, el acero de refuerzo del hormigón armado tiende a corroerse debido a varios factores externos e internos, por lo que dicha corrosión representa una gran desventaja para este tipo de estructuras, las cuales pueden ser afectadas considerablemente en su periodo de vida útil como un material compuesto hormigón-acero (Aperador Chaparro et al., 2013).

En general, el hormigón es un material heterogéneo, obtenido de la mezcla, en una dosificación determinada, de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua, también suele añadirse aditivos que mejoren algunas propiedades del hormigón.

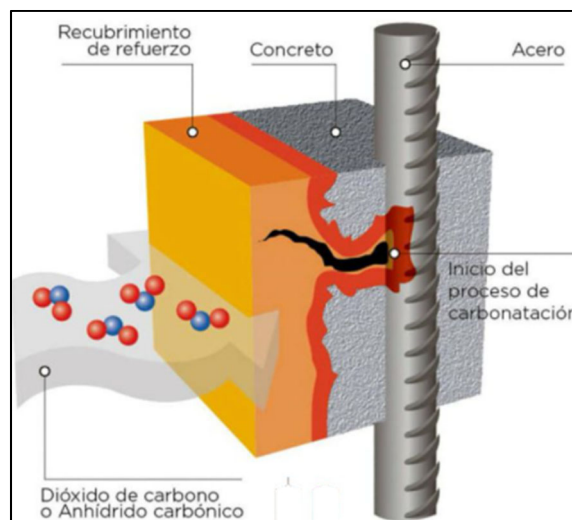
Este material posee un pH comúnmente entre un rango de 12 a 13, por lo que se lo considera como un material básico (Terreros, 2006).

El hormigón, al ser un material básico, genera que el acero de refuerzo normalmente se encuentre en estado pasivo, recubierto por una capa de iones de hidróxido de calcio, los cuales protegen a la varilla de factores primordiales para toda acción corrosiva, tales como el oxígeno, la humedad e iones corrosivos como los cloruros y sulfatos, presentes en ambientes marinos o sectores industriales (Calleja & Andrade, 1973).

Entre las diferentes formas de corrosión, se encuentran dos tipos que son de gran relevancia para estructuras de hormigón armado, las cuales son: corrosión por carbonatación y corrosión por presencia de cloruros (Solano et al., 2013)

### **1.5.1.1 Corrosión por carbonatación**

Este tipo de corrosión se presenta cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se encuentra de manera abundante en el exterior de la estructura de hormigón armado. Estas partículas de  $\text{CO}_2$  penetran en el hormigón, reaccionando con el recubrimiento de iones de hidróxido de calcio que se encuentra en la superficie del acero embebido; el resultado de esta reacción es el carbonato de calcio, el cual disminuye el pH del hormigón a un estado neutral, produciendo un constante y progresivo efecto corrosivo en el acero de refuerzo (Paredes et al., 2013).

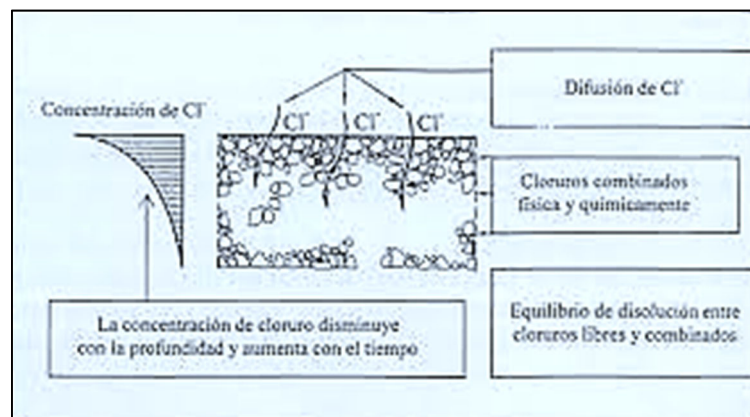


**Figura 1.1.- Proceso de corrosión por carbonatación**  
[JGF Ingeniería y Construcción SAC, 2020]

### 1.5.1.2 Corrosión por acción de cloruros

Este tipo de corrosión se presenta en estructuras expuestas a un ambiente salino, como por ejemplo las zonas costeras, el proceso de penetración de cloruros en las barras de acero es ocasionado por esta reacción. Las condiciones desfavorables que esta propensa la superficie cuando los iones cloruro se adentran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre el acero originan una pequeña zona anódica, con relación a la catódica (Carrero, 2018).

El acero se corroe progresivamente en las zonas locales; la disposición de cloruros en sus componentes como el cemento, agua, agregados, aditivos e incluso el ambiente; causan la disminución del área transversal de la varilla. La disminución del pH provocada a partir de la reacción entre el componente del cemento (Aluminato tricálcico - C3A) y el cloro, forman el Cloro aluminato cálcico generando el medio ácido para la corrosión. Cabe mencionar que el contenido de C3A es el máximo participante en la capacidad de retención de cloro, y esto proviene del tipo y contenido de cemento en el hormigón (Villagrán Zaccardi, 2012)



**Figura 1.2.- Proceso de corrosión por acción de cloruros [Paredes et al., 2013].**

Cabe resaltar, que los productos corrosivos no siempre vienen del exterior, sino provienen de la mezcla del hormigón, debido a la contaminación de los agregados o la utilización de agua contaminada; incluso, elementos como el cloruro se encuentran en aditivos que se agregan al hormigón fresco para mejorar cualquier propiedad o compartimento durante su amasado, fraguado o endurecimiento (Calleja & Andrade, 1973).



### 1.5.2 Transporte de cloruro en hormigón

De acuerdo a Villagrán Zaccardi (2012), los mecanismos de transporte por el cual el cloruro puede ingresar al hormigón desde el medio exterior son varios:

Por difusión iónica, a causa del gradiente de concentración entre la superficie expuesta y el líquido de poro en la matriz cementícea, siempre que exista humedad dentro de la estructura de poro.

- Por absorción de agua conteniendo cloruro, de hormigón parcialmente saturado (absorción capilar).
- Por flujo de agua en el hormigón debido a un gradiente de presión.
- Por dispersión de iones cloruro debido a efectos convectivos de la solución de poro.
- Por el movimiento de agua en el hormigón con una cara seca y otra mojada (caso particular del anterior).
- Por efecto de un potencial eléctrico externo y/o intrínseco.

La combinación de los efectos antes mencionados da lugar a la penetración de cloruros en el hormigón sometido a la exposición atmosférica. El ingreso de la solución se da a través de la red de poros. En consecuencia la estructura porosa del hormigón es el factor determinante de la velocidad de ingreso de cloruro (Monosi et al., 1989), la cual está determinado esencialmente por el volumen total de vacíos, la distribución de tamaños y la conectividad de los poros (ACI Material Journal, 1993). Debido que el traslado de iones se produce por medio de la solución de poro del hormigón, una saturación parcial se da porque el cloruro ingresa únicamente mediante por una fracción de poros ocupada por solución. Puesto que es de gran importancia la estructura del poro, la relación agua / material cementíceo ( $a/mc$ ) y el tipo de curado (Chatterji, 1994), por la exudación y la altura del elemento estructural (Sandberg et al., 1998) (Traversa et al., 2003), afectan naturalmente la velocidad del ingreso de los cloruros en el hormigón (Gharaibeh & Hanai, 2000). (Powers, 1958) La relación  $a/cm$  disminuye exponencialmente según la permeabilidad del hormigón que está definida por la porosidad conectada del hormigón, y por lo tanto su permeabilidad y su difusividad (Neville A. M., 1999)

### 1.5.3 Durabilidad del hormigón

La durabilidad es una propiedad relevante en el hormigón, debido a que otorga al material la capacidad de soportar las condiciones de servicio. Según el (ACI-201R, 1997), define a la durabilidad como: “la habilidad para resistir la acción del tiempo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un concreto saludable mantendrá su forma, calidad y condiciones de servicio originales, cuando se exponen a su ambiente”.

#### 1.5.3.1 Modelos de Durabilidad

Existen varios modelos matemáticos para poder estimar la durabilidad del hormigón armado expuesto a un ambiente con elevadas concentraciones de cloruro. Estos modelos se basan en determinar la vida útil del elemento de hormigón armado dependiendo de la degradación del acero de refuerzo. La estimación de la vida útil depende del periodo en el que los iones corrosivos se difunden por el hormigón hasta el acero de refuerzo, comenzando con la corrosión de la varilla, tal como se muestra en el modelo propuesto por Tuutti (1982).

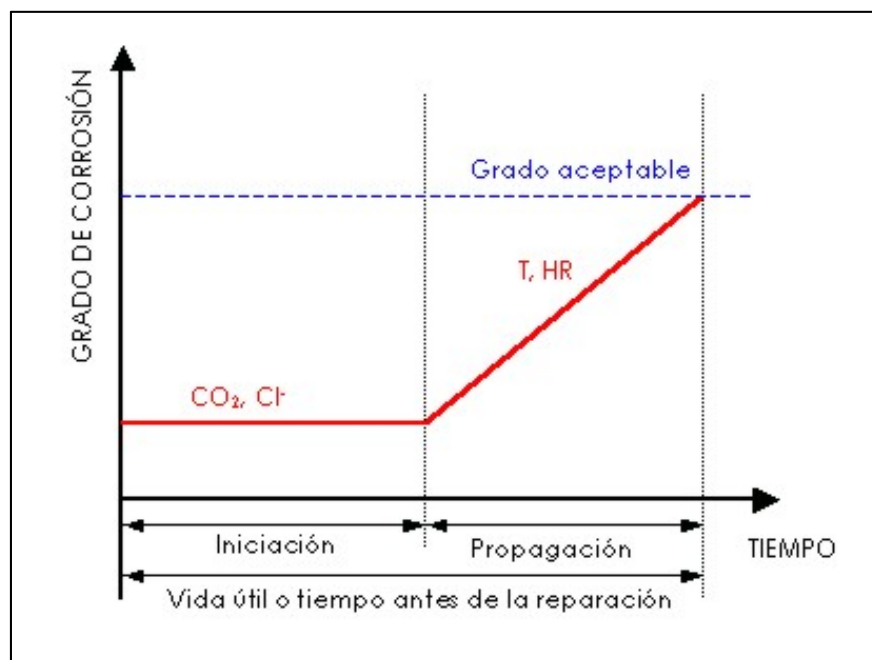


Figura 1.3.- Fases de iniciación y propagación de la corrosión,  
[Tuutti, 1982]

La Figura 1.3 muestra como el grado de corrosión de la varilla embebida en el hormigón no varía durante el periodo de iniciación, el cual representa el tiempo en que los iones de cloruro penetran el recubrimiento de hormigón y alcanzan la varilla de acero, logrando despasivarla e iniciando el periodo de propagación (Díaz, 2012).

El periodo de propagación comienza una vez despasivado el acero de refuerzo, iniciado la propagación de la corrosión a través del refuerzo hasta un estado límite inaceptable, en el que se ponen en riesgo la funcionalidad y la integridad estructural del elemento corroído (Garrido Ruiz, 2016). Una vez iniciado el periodo de propagación, la corrosión deteriora la varilla de refuerzo y, a menos que no se realice un proceso de reparación, no se la podrá detener (Armado & Duffó, 2019). De acuerdo a Torres y Martínez (2006), y basándose en el modelo de durabilidad de Tuutti (1982), el periodo de propagación se determinan hasta que el elemento estructural haya alcanzado su límite de serviciabilidad. Además, el modelo presentado por Torres y Martínez (2006) considera un periodo de vida residual, el cual depende de la capacidad del elemento estructural y termina cuando se haya alcanzado el límite de durabilidad del material, que podría desencadenar en una falla mecánica.

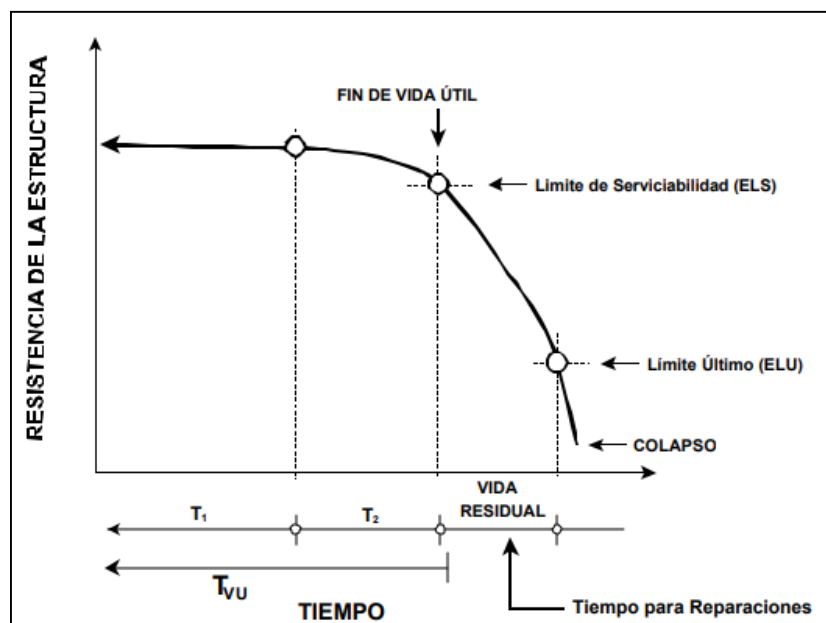


Figura 1.4.- Modelo de durabilidad propuesto para un elemento estructural de hormigón armado, [Torres Acosta & Martínez Madrid, 2006]

De acuerdo a la Figura 1.4 , T1 representa el Periodo de iniciación, el cual se lo estima utilizando la Ecuación 1.6 correspondiente a la segunda Ley de Fick. Asi mismo, T2 corresponde al periodo de propagación, el cual se lo estima utilizando varias relaciones empíricas que dependen principalmente del comportamiento del material durante la aparición de grietas y de la pérdida de la capacidad del elemento estructural conforme el diámetro de la varilla de acero vaya perdiendo su diámetro.

### 1.5.3.2 Degradación de las estructuras de hormigón armado por corrosión

Andrade et al (1993) planteó que el periodo de servicio durante la propagación de la corrosión en la varilla de acero está definido por la evolución del ancho del ancho de grieta del elemento estructural de hormigón armado.

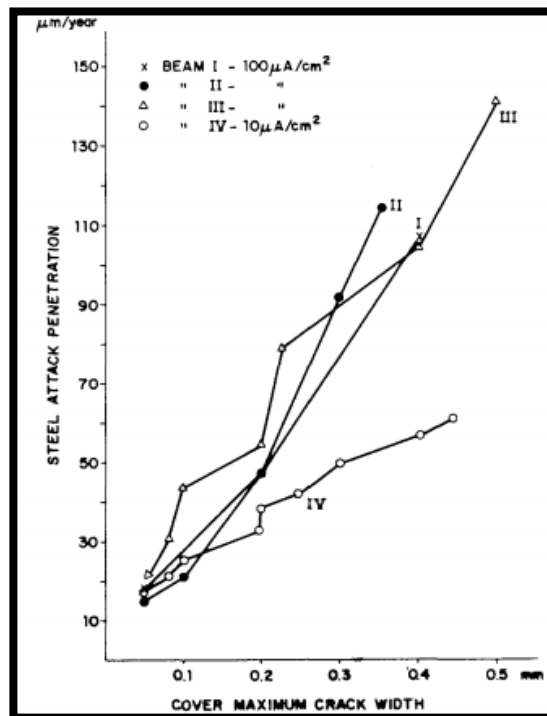


Figura 1.5.- Gráfica que representa la relación entre la penetración de ataque de la corrosión en la varilla vs el agrietamiento en la superficie de la muestra de hormigón, [Andrade et al (1993)]

De la Figura 1.5, Andrade et al. (1993) planteo la siguiente ecuación:

$$\Delta w = \gamma \Delta \phi \quad [Ecuación 1.1]$$

Donde:

$\Delta w$  , es el aumento del ancho de la fisura en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

$\Delta\phi$  , es la pérdida del diámetro de la varilla de refuerzo.

$\gamma$  , es un factor que depende de la corriente aplicada y de los datos transversales. Este valor tiene un orden de 1.5 a 5, de acuerdo a los ensayos realizados por Andrade et al. (1993)

### **1.5.3.3 Pérdida de diámetro de varillas de acero de refuerzo en el tiempo**

En base a las investigaciones realizadas por Andrade et al. (1993), Thoft (2006) planteó la ecuación 4 para el cálculo de la pérdida del diámetro de la varilla de acero de refuerzo en función del tiempo  $\Delta\phi(t)$ :

$$\Delta\phi(t) = \left[ \left( \frac{\phi/2}{\phi/2 + c} + 1 \right) c \Delta w(t) \right] / [(\alpha - 1)\pi\phi] \quad [\text{Ecuación 1.2}]$$

Donde:

$\phi$  , es el diámetro de la varilla de refuerzo, [mm].

$\Delta\phi(t)$ , es la pérdida del diámetro de la varilla de acero de refuerzo en el tiempo de propagación, [mm].

$c$  , es el recubrimiento del acero de refuerzo, [mm].

$\Delta w(t)$ , es el ancho de la grieta en la superficie del elemento estructural en el periodo de propagación de la corrosión  $t$ , [mm].

$\alpha$  , es la relación entre las densidades del acero de refuerzo y los productos de herrumbre (óxido), [mm].

$$\alpha = \rho_{acero} / \rho_{herr} \quad [\text{Ecuación 1.3}]$$

Donde,  $\rho_{acero}$  es la densidad del acero de refuerzo y  $\rho_{herr}$  es la densidad de los productos de herrumbre (óxido).

### **1.5.3.4 Variación del ancho de la grieta durante el periodo de propagación**

Díaz (2012) recopiló diferentes modelos para la estimación del ancho de grieta, los cuales se presentan en la Tabla n. Para propósitos de este proyecto se planteó

usar el modelo general de Muñoz (2009), debido a que presenta una investigación con una sustancial base de datos.

Modelo	Ecuación	No.
Andrade et al. (2010): viga T	$w = 25.376 \frac{P_x}{c/\emptyset}$	3.14
Andrade et al. (2010): general	$w = 9.5 \frac{P_x}{c/\emptyset}$	3.15
Otros autores: corrosión acelerada	$w = 4.7791 \frac{P_x}{c/\emptyset}$	3.16
Muñoz (2009) viga T (seguimiento)	$w = k \frac{P_x}{c/\emptyset} ; k = \begin{cases} 14.24 & \text{si } I_{corr} = 1.5 \mu\text{m/año} \\ 10.68 & \text{si } I_{corr} = 2.0 \mu\text{m/año} \end{cases}$	3.17
Muñoz (2009) general	$w = k \frac{P_x}{c/\emptyset} ; k = \begin{cases} 20.35 & \text{si } I_{corr} = 1.5 \mu\text{m/año} \\ 15.26 & \text{si } I_{corr} = 2.0 \mu\text{m/año} \end{cases}$	3.18
Regresión lineal múltiple (Stepwise): Zona de Borde	$w = -2.37(c/\emptyset)^{-1} - 6.89P_x + 62.68[P_x/(c/\emptyset)]$	3.19
Regresión lineal múltiple (Stepwise): Zona Central	$w = 0.41 - 2.37(c/\emptyset)^{-1} - 6.89P_x + 41.34[P_x/(c/\emptyset)]$	3.20
Torres y Martínez (2001)	$w = 21.8 \left( \frac{P_x}{r_o} \right)$	3.21

**Figura 1.6.- Base de modelos numéricos para la estimación del ancho de grieta a través del tiempo, [Díaz, (2012)]**

Donde:

$w$  , es el ancho de la grieta, [mm].

$c$  , es el recubrimiento de hormigón para la varilla de acero de refuerzo, [mm].

$\emptyset$  , es el diámetro de la varilla de acero de refuerzo, [mm].

$P_x$  , es la penetración de la corrosión en la varilla de acero de refuerzo [mm]. Este valor se lo obtuvo en base a la investigación de Muñoz Noval (2009), en la cual planteo la siguiente expresión:

$$P_x = 0.0115 * I_{corr} * t \quad [Ecuación 1.4]$$

Donde:

$I_{corr}$  , es la velocidad de corrosión,  $\left[\frac{\mu A}{cm^2}\right]$ . Su valor medio anual radica entre  $0.128 - 0.172 \left[\frac{\mu A}{cm^2}\right]$ .

#### 1.5.4 Porosidad de la pasta de cemento

La porosidad de la pasta de cemento depende primordialmente de la relación agua/cemento(a/c) y del grado de hidratación alcanzado por el cemento. El resultado de la unión del volumen de los huecos capilares y de los huecos del gel, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado es la llamada porosidad de la pasta de cemento. Los niveles de hidratación entre 100% y 27% corresponden a un volumen total de poros se encuentra generalmente entre 46% y 60% dependiente del grado de hidratación, para una mezcla con una relación a/c de 0,6 (Vélez, 2010).

Este es un factor de vital importancia para el estudio de la durabilidad del concreto, debido a que esta propiedad del hormigón es la condiciona su posterior comportamiento para absorber líquidos y su capacidad de flujo a través de él. Las dos clasificaciones son la porosidad cerrada la cual está considerada como los poros que no se comunican entre ellos ni con el exterior y la porosidad abierta como aquella que se comunica entre los poros y con el medio exterior permitiendo la absorción , transferencia o intercambio de sustancias disueltas entre el interior del concreto y el ambiente circundante (Quintero Ortíz et al., 2011).

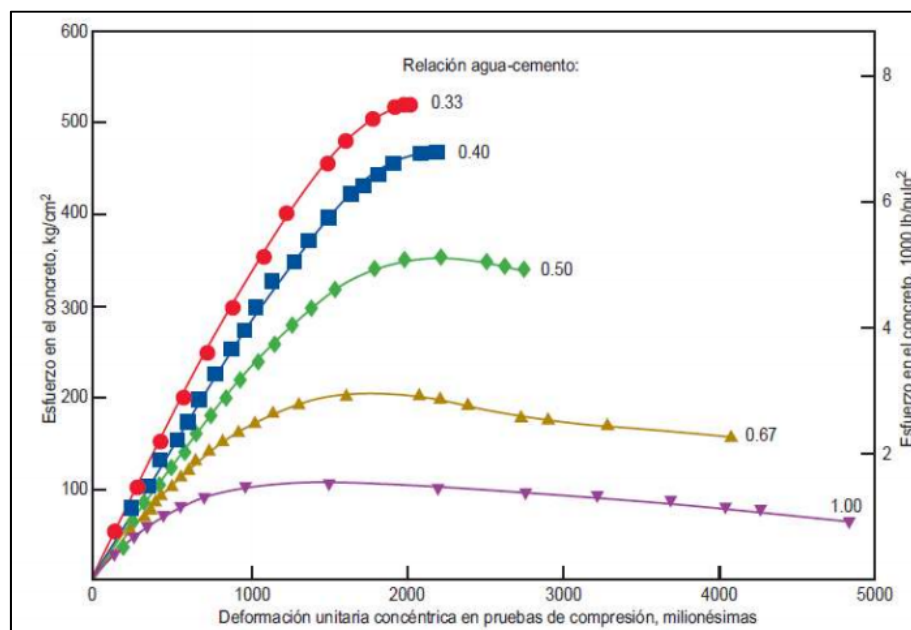
#### 1.5.5 Porosidad del concreto

(Neville & Brooks, 1998) La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el material compuesto, se presenta como una función de: la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), (el volumen de aire atrapado A), las cantidades de agregados fino (arena, Af) y grueso (grava, Ag), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados ( $\rho_f$  y  $\rho_g$ ) (Solís-Carcaño & Moreno, 2006).

$$P = \frac{\frac{a}{c} - 0,36h + \frac{A}{c}}{0,317 + \frac{1}{\rho_f} \frac{Af}{c} + \frac{1}{\rho_g} \frac{Ag}{c} + \frac{A}{c}} \quad [\text{Ecuación 1.5}]$$

### 1.5.6 Relación agua/cemento

La relación agua/cemento se define como el cociente entre las cantidades de agua y cemento presentes en un volumen determinado de hormigón fresco. Esta relación es una de los parámetros más importantes que posee el hormigón, debido a que afecta las propiedades del elemento a largo plazo. En base a la Figura 1.7, se puede observar que: a mayor relación agua/cemento, menor resistencia a la compresión del elemento de hormigón, de la misma manera a menor relación agua/cemento se obtiene una mayor resistencia a la compresión, sin embargo también disminuye la deformación unitaria última (Terreros, 2006).



**Figura 1.7.- Gráfica referencial Esfuerzo vs Deformación de probetas ensayadas con diversas relaciones agua/cemento [Boletín de Ingeniería EB201, 2004].**

### 1.5.7 Resistencia del hormigón

La capacidad de un material para soportar esfuerzos sin fallar se define como resistencia, las fallas suelen aparecer como grietas. Se tiene que tener en consideración que el concreto presenta algunas grietas finas antes de estar expuestos a esfuerzos externos. Por lo tanto, el esfuerzo requerido para causar fractura está relacionado con la resistencia y es equivalente al grado de falla, al cual el esfuerzo aplicado alcanza su valor máximo. Al efectuarse pruebas de tensión, una fractura significa falla en una probeta o pieza, en cambio, en compresión



cuando no habiendo señas el agrietamiento interno es tan avanzado que el espécimen es incapaz de recibir una carga mayor sin fracturarse (López, 2004). Existen varios estudios en donde se establece una relación directa entre la resistencia del hormigón y la relación agua-cemento. De acuerdo al artículo científico presentado por (Guevara Fallas et al., 2012), se considerará para este proyecto las relaciones entre resistencia del hormigón y la relación agua/cemento que se muestran en la Figura 1.8.

A/C	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
0,36	420
0,40	370
0,45	340
0,50	295
0,55	275
0,60	230
0,65	220
0,70	185
0,75	165
0,80	140

**Figura 1.8.- Influencia de la relación Agua/Cemento en la resistencia del hormigón [Guevara Fallas et al., 2012].**

### **1.5.8 Inhibidores de corrosión**

Los inhibidores de corrosión son sustancias químicas, que se agregan en la mezcla de hormigón fresco, manteniendo el acero de refuerzo en un estado pasivo, disminuyendo considerablemente la corrosión por carbonatación o por acción de cloruros; sin embargo el uso de los inhibidores no es definitivo, debido a que solo retrasa el proceso de corrosión, alargando la vida útil del hormigón (Paredes et al., 2013).

Los inhibidores de corrosión se encuentran clasificados en inhibidores anódicos, catódicos y mixtos.

### **1.5.8.1      *Inhibidores Anódicos***

Estos inhibidores de corrosión tienden a retrasar la reacción anódica producida por disociación del hierro y por la acción catalizadora de los iones de cloruro, los cuales son los responsables de la incrementar la velocidad de corrosión. Como ejemplo de este tipo de inhibidores, se tienen los que se elaboran a base de nitrito de calcio, los cuales poseen cierta propiedad que permite oxidar iones ferrosos y férricos, pasivando la superficie de acero de refuerzo (Amaya et al., 2016).

### **1.5.8.2      *Inhibidores Catódicos***

Estos inhibidores de corrosión tienden a precipitarse en las soluciones insolubles, aumentando el pH y reduciendo el transporte de oxígeno en la zona catódica. Como ejemplo, se tienen los inhibidores de hidróxido de sodio o carbonato de sodio (Amaya et al., 2016)

### **1.5.8.3      *Inhibidores Mixtos***

Estos inhibidores de corrosión actúan pueden actuar simultáneamente como inhibidor anódico, formando depósitos protectores sobre la superficie del acero, o como inhibidor catódico, controlando la reacción del oxígeno con los electrones liberados provenientes de la zona anódica. Como ejemplo, se tienen los inhibidores desarrollados a base de carboxilato de amina (Calleja & Andrade, 1973).

## **1.5.9 Aditivos inhibidores de corrosión**

El uso de aditivos inhibidores pretende ser una idea bastante sugestiva, al momento de plantearse una solución para proteger el acero de refuerzo del hormigón, debido a su facilidad de uso y que no requiere una mano de obra especializada. No obstante, se deben analizar el costo de la implementación de estos aditivos y sus propiedades, a fin de que no influya desfavorablemente al fraguado, endurecimiento y resistencia del hormigón a corto y largo plazo (Calleja & Andrade, 1973).

Se detallará a continuación las características de los inhibidores de corrosión locales proporcionados por la empresa que se dedica a la comercialización de los mismos, los cuales fueron utilizados como base para el análisis de resultados de este proyecto.

#### **1.5.9.1      *Inhibidor MCI-2005 Patentado***

##### Características

- Es un inhibidor de corrosión orgánico mixto, por ende, protege tanto las áreas anódicas como catódicas dentro de la zona de corrosión.
- Contiene una mezcla de sales aminas de ácidos carboxílicos que forman una capa protectora en la superficie del acero de refuerzo embebido en el hormigón.
- Retrasa el inicio de corrosión y disminuye la tasa de corrosión existente.
- Se encuentra disponibles en baldes de 5 galones (19 litros), tambores de 55 galones (208 litros) y contenedores de 275 galones (1040 litros).

##### Dosificación

La dosificación es de 0.6 L/m<sup>3</sup> y es independiente de los niveles de cloruro. Se añade este inhibidor junto con el agua de la mezcla.

##### Costo

El costo unitario del CORTEC MCI 2005 es de \$ 15+ IVA / m<sup>3</sup>, pero de acuerdo al volumen adquirido, con el descuento puede llegar a \$ 12+ IVA / m<sup>3</sup>.

##### Consideraciones

Este inhibidor puede causar una demora en el tiempo inicial del fraguado, la extensión de la demora dependerá del diseño de la mezcla, la temperatura y la humedad.

#### **1.5.9.2      *Inhibidor MCI-2020***

##### Características

- Es un inhibidor de corrosión orgánico mixto, por ende, protege tanto las áreas anódicas como catódicas dentro de la zona de corrosión.
- Contiene una mezcla de amino alcoholes y sales aminas de ácidos carboxílicos que forman una capa protectora en la superficie del acero de refuerzo embebido en el hormigón.
- Retrasa el inicio de corrosión y disminuye la tasa de corrosión existente.
- Se encuentra disponibles en baldes de 5 galones (19 litros), tambores de 55 galones (208 litros) y contenedores de 275 galones (1040 litros).

### Dosificación

Se aplica en una dosificación estimada de 150 ft<sup>2</sup>/galon (3.68 m<sup>2</sup>/litro) en superficies horizontales y 300 ft<sup>2</sup>/galon (7.36 m<sup>2</sup>/litro) en superficies verticales e inclinadas.

### Costo

El inhibidor CORTEC MCI 2020 tiene un precio unitario referencial es de \$ 7,00+ IVA / m<sup>2</sup>

#### **1.5.9.3 Sika CNI**

Este inhibidor de corrosión está elaborado a base de Nitrito de Calcio y se encarga de proteger a las varillas de acero de refuerzo en elementos de hormigón armado. La aplicación de este inhibidor de corrosión representa resultados excelentes para el hormigón tanto en el beneficio como en el costo (Perez Cotrina, 2017).

#### **1.5.10 Service Life 365**

Service Life 365 es un software diseñado para estimar la vida útil y costos del ciclo de vida de un elemento de hormigón armado expuesto a cloruros, utilizando alternativas de diseño de mezclas de hormigón y la aplicación de sistemas de protección en contra de la corrosión (Bentz & Thomas, 2012).

De acuerdo a Bentz & Thomas (2012), el análisis de este software se puede dividir en cuatro etapas secuenciales:

- La predicción del tiempo en el que comienza la corrosión del acero, generalmente conocido como periodo de iniciación,  $t_i$
- La predicción del tiempo en el que la corrosión alcance un estado inaceptable, comúnmente llamado periodo de propagación,  $t_p$ . Cabe mencionar que el tiempo para la primera reparación se lo obtiene sumando el  $t_i + t_p$ .
- Determinación de los cambios que se implementarán luego de la primera reparación.
- Estimación del costo del ciclo de vida de la estructura, considerando los costos iniciales (utilizando o no inhibidores de corrosión) y los costos de las reparaciones futuras que se podrían implementar.

#### **1.5.10.1 Predicción del periodo de iniciación**

El periodo de iniciación,  $t_i$ , se define como el tiempo en el que los iones de cloruro penetren en el recubrimiento del hormigón y se acumulen de tal forma que el acero de refuerzo empiece a corroerse. Para el cálculo de este periodo, el software utiliza un método simplificado basado en la difusión de Fickian, el cual no requiere entradas complejas por parte del usuario y se base en la normativa estándar ASTM-C1556 (Bentz & Thomas, 2012).

Para la predicción del periodo de iniciación se utiliza la segunda ley de Fick, en la cual se asume que la difusión es el mecanismo dominante con respecto a la propagación de iones de cloruro y que no existen grietas en el hormigón (Ossorio & Lorenzo, 2014). La segunda ley de Fick se rige por la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dC}{dt} = D * \frac{d^2C}{dx^2} \quad [\text{Ecuación 1.6}]$$

Donde:

$C$  = Contenido de cloruro.

$D$  = Coeficiente de difusión aparente.

$x$  = Profundidad de la superficie expuesta.

$t$ = Tiempo [años].

De acuerdo a Bentz & Thomas (2012), el coeficiente de difusión aparente del cloruro es una función que depende de la temperatura y el tiempo, y el software utiliza la siguiente función para tener en cuenta los cambios en la difusión que varían con el tiempo:

$$D(t) = D_{ref} * \left(\frac{t_{ref}}{t}\right)^m \quad [Ecuación 1.7]$$

Donde:

$D(t)$ = Coeficiente de difusión en el momento.

$D_{ref}$ = Coeficiente de difusión en el tiempo  $t_{ref}$ , igual a 28 días en el software.

$m$ = Índice de desintegración de la difusión, contante.

Para evitar que el coeficiente de difusión disminuya continuamente con el tiempo, la Ecuación 1.7 se supone válida hasta los 25 años, a partir de ahí se mantiene constante en el valor  $D(25 \text{ años})$ .

El software considera los valores de  $D_{ref}$  y  $m$  de acuerdo a la composición de la mezcla de concreto (relación agua/cemento, tipo de agregados de la mezcla y su dosificación), estos datos son proporcionados por el usuario.

#### **1.5.10.2 Parámetros de entrada para la predicción del periodo de iniciación**

En base a la investigación de Bentz & Thomas (2012), para que el software genere resultados apropiados, requiere la siguiente información para poder calcular el periodo de iniciación.

- Ubicación Geográfica.- Este parámetro se utiliza para conseguir una base de temperaturas a lo largo del año; sin embargo debido que el software no posee en su base de datos la ubicación geográfica de lugares fuera de Estados Unidos, se ingresó del historial de temperaturas manualmente, usando las bases del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

- Tipo de estructura y naturaleza de exposición.- Este parámetro se lo ingresa mediante el dato de la concentración de cloruros en la superficie del elemento estructural, ya que este valor varía dependiendo del tipo de exposición que afecta al elemento de hormigón armado.
- Recubrimiento del elemento estructural hasta llegar a la superficie del acero de refuerzo ( $x_d$ ).
- Detalle de cada escenario de protección, como la relación de agua/cemento, cantidad y tipo de materiales cementantes, así como el uso de inhibidores de corrosión, el tipo de acero y revestimientos.

A partir de estos parámetros, el software estimar el tiempo hasta que comience la corrosión.

#### **1.5.10.3      *Predicción del periodo de propagación***

El software fija el periodo de propagación en 6 años por defecto, es decir, que el periodo para la primera reparación,  $t_r$ , se calcula simplemente con  $t_r = t_i + 6$ . El usuario puede cambiar dicho periodo de propagación de acuerdo a experiencias o resultados de ensayos. La única estrategia de protección que influye en el periodo de propagación es el uso de acero con recubrimiento epoxi, lo cual establece el  $t_p$  en 20 años (Bentz & Thomas, 2012).

#### **1.5.10.4      *Programa de reparación***

El software predice el tiempo hasta la primera reparación,  $t_r$ , considerando las propiedades del hormigón, el método de protección contra la corrosión utilizado en los distintos escenarios y la exposición ambiental. El usuario debe estimar el costo y el alcance de esta primera reparación (es decir, el porcentaje de área a reparar) y el rango fijo, en donde se realizan las reparaciones futuras (Bentz & Thomas, 2012).

#### **1.5.10.5 Estimación del costo del ciclo de vida**

De acuerdo a la investigación de Bentz & Thomas (2012), para estimar el costo del ciclo de vida, este software se basa en los lineamientos de la práctica estándar ASTM E-917 para estimar los costos del ciclo de vida de la construcción. Esta etapa del programa incluye los siguientes procesos:

1. Definir un año base, período de estudio, tasas de inflación y descuento, requisitos del proyecto y alternativas que cumplan con los requisitos del proyecto;
2. Calcular el valor presente de los costos futuros;
3. Informar los resultados en términos de valor presente (dólar constante) y dólares corrientes; y
4. Realización de análisis de incertidumbre y sensibilidad.

El usuario debe ingresar los siguientes datos para realizar un correcto análisis del costo del ciclo de vida:

- Costo de las mezclas de hormigón (incluyendo los inhibidores de corrosión de ser el caso de utilizarlo) para todo tipo de estrategias de protección.
- Costo, recubrimiento (porcentaje de la superficie) y tiempo de las reparaciones.
- Tasa de inflación,  $i$
- Tasa de descuento real.

#### **1.5.11 Modelación numérica de ingreso de cloruro**

A continuación se mencionan modelos numéricos de ingreso de cloruros de diferentes autores



### 1.5.11.1 Condiciones iniciales y de borde

Las condiciones iniciales y de borde deben ser conocidas para resolver la Segunda Ley de difusión de Fick, dependiendo del grado de conocimiento de estas condiciones pueden definirse algunos casos especiales

La condición esencial primaria a tener en cuenta es el contenido de cloruro en la superficie del hormigón,  $C_s$ . Considerar un valor constante para  $C_s$  resulta una simplificación importante. Precisamente, para un hormigón expuesto durante un período considerable de tiempo, puede asumirse una concentración superficial estabilizada,  $C_s=C_e$ . A pesar de ello, se debe tener en cuenta que este valor fluctúa en el tiempo, con la consiguiente modificación en el perfil de ingreso de cloruro en exposición atmosférica (Villagrán Zaccardi, 2012).

#### Modelo de Sietta [(Sietta et al., 1993)]

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = \nabla(D_{ap} * \nabla C_t) + \frac{C_t}{\alpha_{rw}} * \frac{\partial w}{\partial t} \quad [\text{Ecuación 1.8}]$$

#### ClinConc [(Tang , 1996)]

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = \nabla(wD_{int} * \nabla C_{f(vol)}) \quad [\text{Ecuación 1.9}]$$

#### Modelo de Boddy [(Boddy et al., 1999)]

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_f}{\partial x^2} - \bar{v} \frac{dC_f}{dx} + \frac{\rho}{p} \frac{dC_b}{dt} \quad [\text{Ecuación 1.10}]$$

#### Modelo de Samson y Marchand [(Samson et al., 1999)]

$$\sum_I^N z_j c_j + w_q = 0 \quad [\text{Ecuación 1.11}]$$

$$\sum_I^N z_j \bar{J}_j + w_q = 0 \quad [\text{Ecuación 1.12}]$$

**Modelo Ms Diff** [(Truc et al., 2000)]

$$E_{(x,t)} = \frac{RT - \sum_i z_i D_{int} \frac{\partial c_{i(x,t)}}{\partial x}}{F \sum_i z_i^2 D_{int} c_{i(x,t)}} \quad [\text{Ecuación 1.13}]$$

**Modelo de Martin** [(Martin-Pérez & Mart, 2014)]

$$D_w = D_{w,ref} G_1(HR) G_2(T) G_3(t_e) \quad [\text{Ecuación 1.14}]$$

$$G_1(HR) = 0.05 + \frac{0.95}{1 + \left(\frac{1 - HR}{1 - HR_c}\right)^{n_w}} \quad [\text{Ecuación 1.15}]$$

$$G_2(T) = \exp \left[ \frac{E_w}{R} \left( \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad [\text{Ecuación 1.16}]$$

**Modelo de Meijers** [(Meijers et al., 2005)]

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\partial w}{\partial t} \\ \frac{\partial C}{\partial t} \end{Bmatrix} = \nabla * \left( \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla T \\ \nabla w \\ \nabla C \end{bmatrix} \right) + \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} \quad [\text{Ecuación 1.17}]$$

**Modelo de Johannesson** [(Johannesson & Nyman, 2010)]

$$\frac{\partial(w\rho_w)}{\partial t} = -div(w\rho_w \bar{v}) + m_v \quad [\text{Ecuación 1.18}]$$

$$\frac{\partial(w_v \rho_v)}{\partial t} = -div(w_v \rho_v \bar{v}_v) + m_v \quad [\text{Ecuación 1.19}]$$

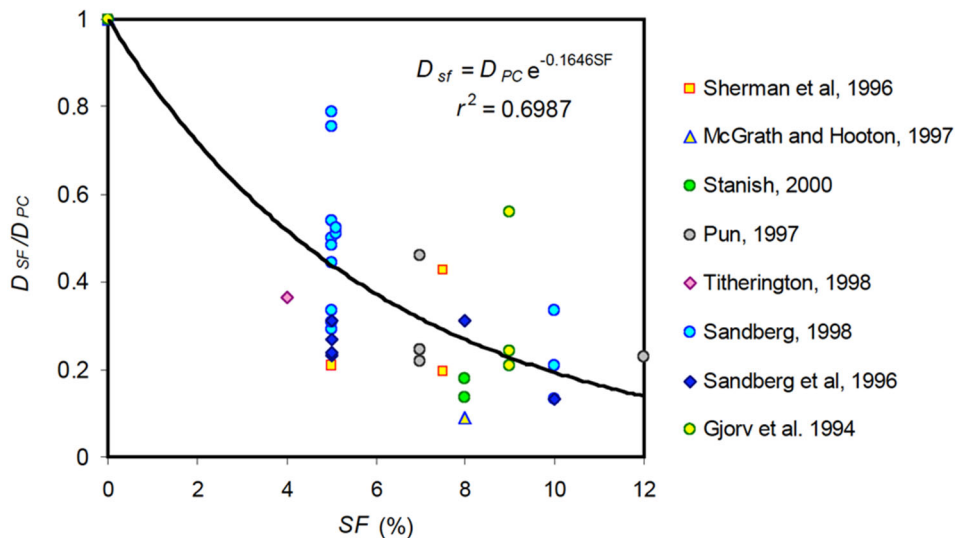
### 1.5.12 Humo de Silice

Las propiedades que aportan al cemento la microsílíce o humo de sílice la convierten en una “súper puzolana” (Allauca et al., 2012). El humo de sílice se

presenta en forma cristalina muy fina producida en hornos de arco eléctrico como subproducto de la producción de silicio elemental o aleaciones que contienen silicio (ACI Committee 116, 2000).

De acuerdo a la investigación de Bentz & Thomas (2012) ,cuando se añade humo de sílice se suscitan reducciones significativas en la permeabilidad y difusividad del hormigón. Life-365 emplea un factor de reducción al valor calculado para el cemento Portland,  $D_{pc}$ , basado en el nivel de humo de sílice (% SF) en el concreto. Se utiliza la siguiente ecuación, que se basa en datos de difusión masiva:

$$D_{sf} = D_{pc} * e^{-0.165.SF} \quad [Ecuación 1.20]$$



**Figura 1.9.- Efecto del Humo de Sílice sobre el Coeficiente de Difusión, [Bentz & Thomas (2012)]**

El la Figura 1.9 muestra la relación entre el contenido de humo de sílice y el coeficiente de difusión. La Figura 1.9 muestra la correspondencia entre el coeficiente de difusión con humo de sílice ( $D_{sf}$ ) y la mezcla de control sin humo de sílice ( $D_{pc}$ ) (Bentz & Thomas, 2012).

El efecto del humo de sílice en el coeficiente de difusión del hormigón en edades tempranas también se determinó utilizando datos de difusión masiva de la Universidad de Toronto, Canadá y varias fuentes publicadas (Malheiro et al., 2014), (Stanish & Thomas, 2003), (Thomas & Bamforth, 1999).

### **1.5.13 Puzolana (Ceniza Volante)**

A través del tiempo desde las civilizaciones griegas y romanas hasta la actualidad en la fabricación de morteros y hormigones por milenios se han utilizado las puzolanas de origen natural (Cuetara Ricardo & Howland Albear, 2018).

El material más utilizado después de la cal y la piedra caliza fue la puzolana cuyo nombre tiene origen en una población cercana al Vesubio llamado Pozzuoli. Actualmente se adiciona puzolana al cemento Portland para alargar la vida útil en grandes obras de ingeniería. El cemento portland puzolánico tiene un contenido de puzolana que varía entre 15 al 50 % (Allauca et al., 2012).

#### **1.5.13.1 Normas que hacen alusión a la puzolana**

Algunas de las normativas que hablan sobre el uso de puzolana y su contenido sugerido (Coppiano Gutierrez, 2016).

Estados Unidos

- ASMT C618
- ASTM C593
- ASTM C311
- ASTM D5370
- Entre Otras.

Europa

- BS 3892
- BS EN 540
- BS EN 197
- DIN EN 450 (Alemania)
- B.S. 6610 (Inglaterra)

#### **1.5.13.2 Normativa INEN 494-1980-11**

La norma dispone los requisitos para el uso de puzolanas naturales o artificiales (calcinadas) empleadas en obras de construcción, pudiendo ser como aditivos

para morteros y hormigones de cementos, o como aditivos para morteros de cal hidratada (INEN 494, 1980).

**Tabla 1.1 .- Requisitos físicos de las puzolanas naturales o calcinadas, [INEN 494, 1980]**

REQUISITO		Unidad	Min	Max	METODO DE ENSAYO
Superficie especificada		m <sup>2</sup> /kg	300	-	INEN 196
Índice de actividad puzolánica	Con Cemento Portland a los 28 días	%	75	-	INEN 495
	Con cal a los 7 días	Mpa	4	-	INEN 496
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	-	0.5	INEN 200

**Tabla 1.2.- Requisitos químicos de las puzolanas naturales o calcinadas [INEN 494, 1980]**

REQUISITO	Unidad	Min	Máx	METODO DE ENSAYO
Oxido de magnesio soluble total	%	-	5	INEN 497
Trióxido de azufre	%	-	3	INEN 497
Pérdida de calcinación	%	-	10	INEN 498

### 1.5.13.3 Norma ASTM C618

La normativa clasifica a las puzolanas en tres categorías como se indica a continuación:

**Clase N:** Puzolanas naturales crudas o calcinadas que cumplen con los requisitos aplicables para la clase los cuales están indicadas en las tablas, como algunas tierras de diatomeas; sílex y lutitas opalinas; tobas y cenizas volcánicas o pumicitas, calcinadas o sin calcinar; y varios materiales que requieren calcinación para inducir las propiedades de algunas personas, como algunas arcillas y lutitas (ASTM, 2008).

**Clase F:** Cenizas volantes normalmente producidas por la quema de antracita o carbón bituminoso que cumple con los requisitos aplicables los cuales se indican en las tablas Esta clase de cenizas volantes tiene propiedades puzolánicas (ASTM, 2008).

**Clase C:** cenizas volantes normalmente producidas a partir de lignito o carbón sub bituminoso que cumple con los requisitos aplicables para esta clase están

definidas en las tablas. Esta clase de cenizas volantes, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene algunas propiedades cementosas (ASTM, 2008) .

**Tabla 1.3 .- Requerimientos Físicos de las clases de puzolanas, [ASTM, 2008]**

<b>Physical Requirements</b>			
	<b>Class</b>		
	<b>N</b>	<b>F</b>	<b>C</b>
Fineness:			
Amount retained when wet-sieved on 45 µm (No. 325) sieve, max, %	34	34	34
Strength activity index:			
With portland cement, at 7 days, min, percent of control	75	75	75
With portland cement, at 28 days, min, percent of control	75	75	75
Water requirement, max, percent of control	115	105	105
Soundness:			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8
Uniformity requirements:			
The density and fineness of individual samples shall not vary from the average established by the ten preceding tests, or by all preceding test if the number is less than ten, by more than:			
Density, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45 µm (No. 325), max variation, porcentaje points from average.	5	5	5

**Tabla 1.4.- Requerimientos Físicos Suplementarios Opcionales de las clases de puzolanas, [ASTM, 2008]**

<b>Supplementary Optional Physical Requirements</b>			
<b>Note 1.- These optional requirements apply only when specifically requested</b>			
	<b>Class</b>		
	<b>N</b>	<b>F</b>	<b>C</b>
Multiple factor, calculated as the product of loss on ignition and fineness, amount retained when wet-sieved on 45 µm (No. 325) sieve, max, %.	-	200	-
Increase of drying shrinkage of mortar bars at 28 days, max, difference, in %, over control	0.03	0.03	0.03
Uniformity Requirements:			
In addition, when air-entraining concrete is specified, the quantity of air-entraining agent required to produce an air content of 18.0 vol % of mortar shall not vary from the average established by the ten preceding tests or by all preceding test if less than ten, by more than, %			
	20	20	20

Effectiveness in Controlling Alkali-Silica Reaction			
Expansion of test mixture as percentage of low-alkali cement control, at 14 days, max, %	100	100	100
Effectiveness in Contributing to Sulfate Resistance			
Procedure A:			
Expansion of test mixture			
For moderate sulfate exposure after 6 months exposure, max, %	0.1	0.1	0.1
For high sulfate exposure after 6 months exposure, max, %	0.05	0.05	0.05
Procedure B:			
Expansion of test mixture as percentage of sulfate resistance cement control after at least 6 months, exposure, max, %	100	100	100

**Tabla 1.5.- Requerimientos Químicos de las clases de puzolanas, [ASTM, 2008]**

Chemical Requirements			
	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> ) plus aluminium oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) plus iron oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfure trioxide (SiO <sub>2</sub> ), max %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, máx, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0	6.0
The use of Class F pozzolan containing up to 12.0 % loss on ignition may be approved by the user if either acceptable performance records or laboratory test results are made available.			

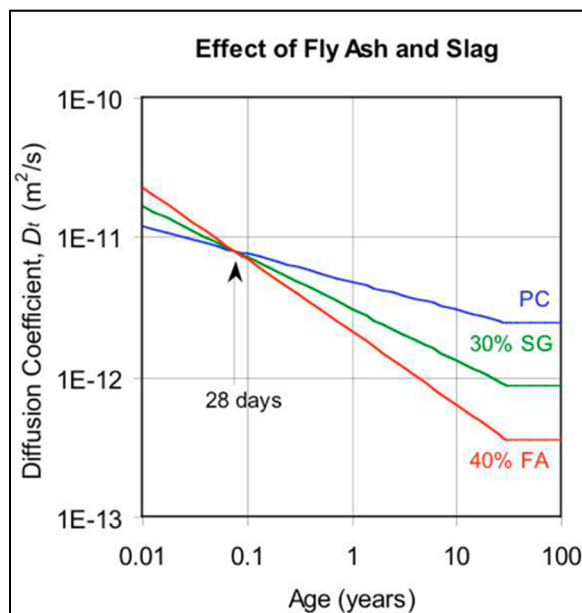
#### **1.5.13.4 Efecto de la ceniza volante y la escoria**

No se supone que ni las cenizas volantes ni la escoria afecten el coeficiente de difusión en edades tempranas, D28, o el umbral de cloruro, Ct. Sin embargo, ambos materiales impactan en la tasa de reducción de la difusividad y, por tanto, en el valor de m (Bentz & Thomas, 2012). La siguiente ecuación se utiliza para modificar m en función del nivel de cenizas volantes (% FA) o escoria (% SG) en la mezcla:

$$m = 0,2 + 0,4 \left( \% \frac{FA}{50} + \% \frac{SG}{70} \right) \quad [Ecuación 1.21]$$

La relación solo es válida hasta niveles de reemplazo de 50 por ciento de cenizas volantes o 70 por ciento de escoria y m en sí mismo no puede exceder 0.60 (lo que ocurriría si se usaran cenizas volantes y escoria en estos niveles máximos),

es decir,  $m$  debe satisfacer  $m \leq 0.60$ . Life-365 no calculará los valores de difusión (ni hará predicciones de la vida útil) para niveles más altos de estos materiales, y después de 25 años mantiene la difusión constante en el valor de 25 años para reflejar que la hidratación es completa.



**Figura 1.10.- Efecto de la ceniza volante y la escoria al coeficiente de difusión de cloruros, [Bentz & Thomas, 2012]**

La Figura 1.10 muestra el efecto de  $m$  para tres mezclas con  $w / cm = 0.40$  y con cemento Portland simple (PC), 30 por ciento de escoria y 40 por ciento de cenizas volantes. La Tabla 1 enumera estas proporciones de mezcla y sus coeficientes de difusión calculados, para 28 días, 10 años y 25 años. Para años mayores de 25, Life-365 usa el coeficiente de difusión calculado de 25 años.

**Tabla 1.6.- Efecto de la ceniza volante y la escoria al coeficiente de difusión de cloruros, [Bentz & Thomas, 2012]**

	$m$ ( $\leq 0.6$ )	D28 ( $\times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ )	D10y ( $\times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ )	D25y ( $\times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ )
<b>PC</b>	0.2	79	30	25
<b>30 percent SG</b>	0.37	79	13	9.3
<b>40 percent FA</b>	0.52	79	6.3	3.9

Los valores de la Tabla 1.6 se basan en información publicada principalmente de estudios marinos. Se considera que la tasa de descomposición en condiciones marinas, donde hay un suministro constante de humedad (en la mayoría de los casos), puede ser algo más alta que en puentes y estructuras de estacionamiento,



donde las reacciones de hidratación continua pueden disminuir por la menor disponibilidad de humedad. Además, Bamforth (2002) no da ninguna indicación de cómo cambiará el valor de  $m$  con el nivel de cenizas volantes y escoria. Muchos de los estudios mencionados por Bamforth (2002) se basaron en niveles relativamente altos de cenizas volantes (por ejemplo, 30 a 50 por ciento) y cemento de escoria (por ejemplo, 50 a 70 por ciento). Por lo tanto, se decidió adoptar un enfoque más conservador en Life-365 y permitir que el valor de  $m$  variara en el rango de 0,20 a 0,60, con base en el nivel de cenizas volantes (% FA) o cemento de escoria (% SG) en la mezcla. La relación utilizada es la Ecuación 1.21.

Otros investigadores han propuesto relaciones entre  $m$  y otros parámetros como la relación  $a/c$  y el contenido de humo de sílice de la mezcla (Mangat & Molloy, 1994). Estos no se consideran en la versión actual de Life-365, pero pueden incorporarse en versiones futuras. Se anima al usuario a examinar la influencia de  $m$  comparando diferentes valores en escenarios definidos por el usuario.

Cada resultado es el promedio de tres resultados individuales de las tres diferentes condiciones de curado, ya que se encontró que la condición de curado no tiene un efecto consistente sobre la entrada de cloruro bajo estas condiciones de exposición.

## **1.6 Análisis de alternativas**

Las alternativas estudiadas dependerán de las variables empleadas para encontrar la mejor relación costo- beneficio (periodo de vida útil). Las variables con las que se trabajó son: la relación agua/cemento ( $a/c$ ), dosificación del inhibidor Sika CNI, % de sílice, % de escoria, % de ceniza volante y recubrimiento. El porcentaje del humo de sílice es del 10%, ceniza volante del 5% y escoria del 20%, estos valores fueron por estudios previos de diversos autores.

**Alternativa 1:** Concreto con 10% HS, 20% E, 5% CV y con Inhibidor

**Alternativa 2:** Concreto con 10% HS y con Inhibidor

**Alternativa 3:** Concreto con 20% E y con Inhibidor

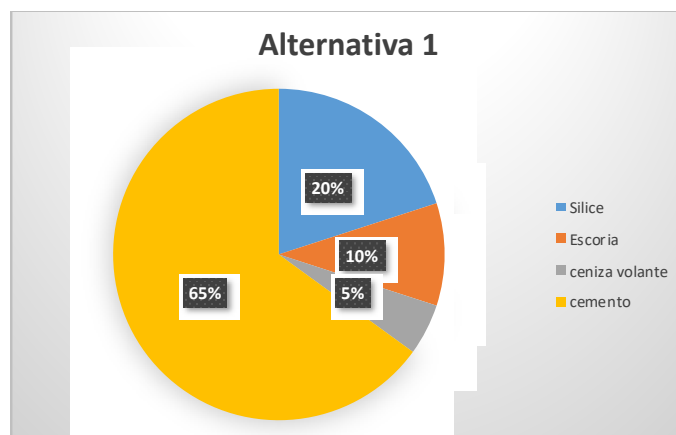
**Alternativa 4:** Concreto con 5% CV y con Inhibidor

**Alternativa 5:** Concreto con 10% HS, 20% E y con Inhibidor

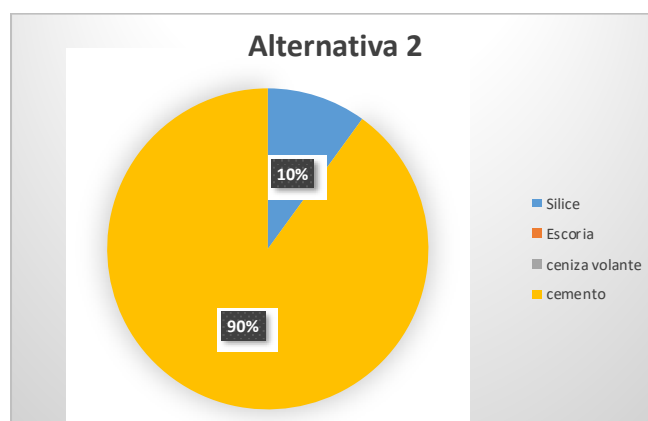
**Alternativa 6:** Concreto con 10% HS, 5% CV y con Inhibidor

**Alternativa 7:** Concreto con 20% E, 5% CV y con Inhibidor

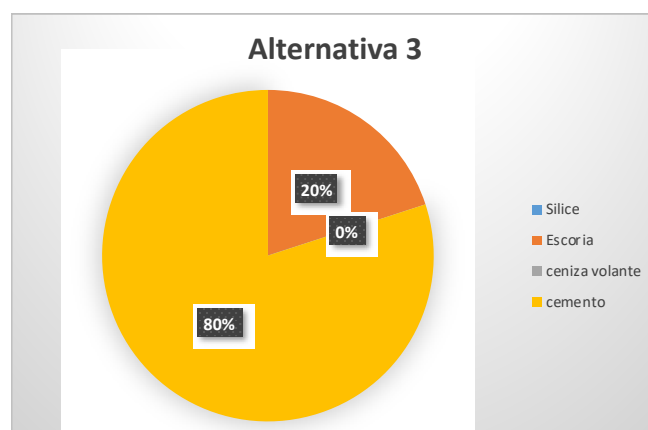
**Alternativa 8:** Concreto con 10% HS, 20% E, 5% CV y sin Inhibidor



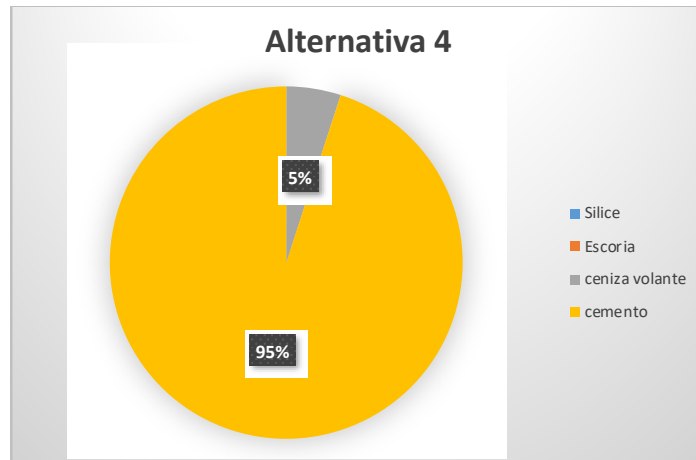
**Figura 1.11.- Alternativa 1, [Elaboración propia, 2021]**



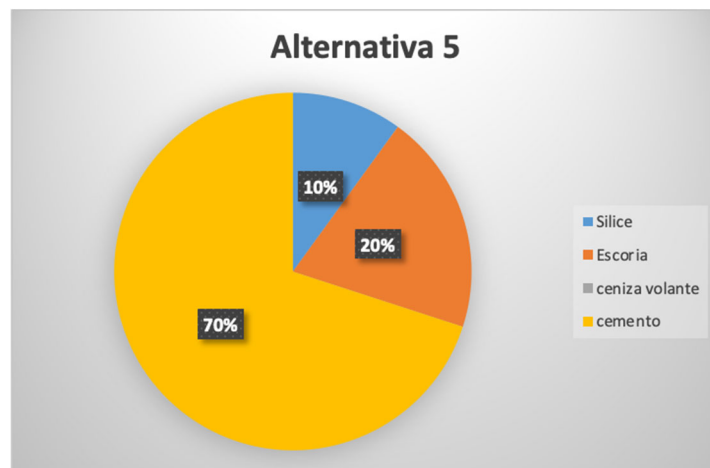
**Figura 1.12.- Alternativa 2, [Elaboración propia, 2021]**



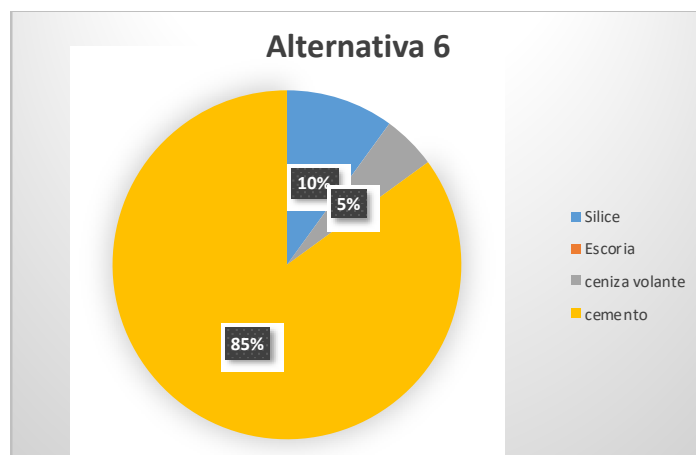
**Figura 1.13.- Alternativa 3, [Elaboración propia, 2021]**



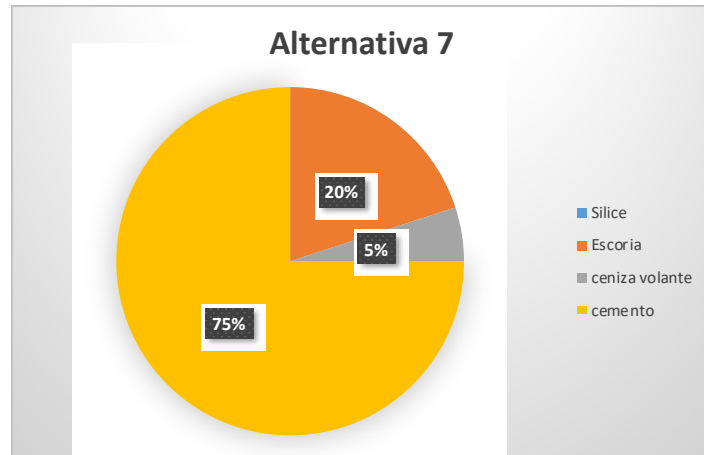
**Figura 1.14.-Alternativa 4, [Elaboración propia, 2021]**



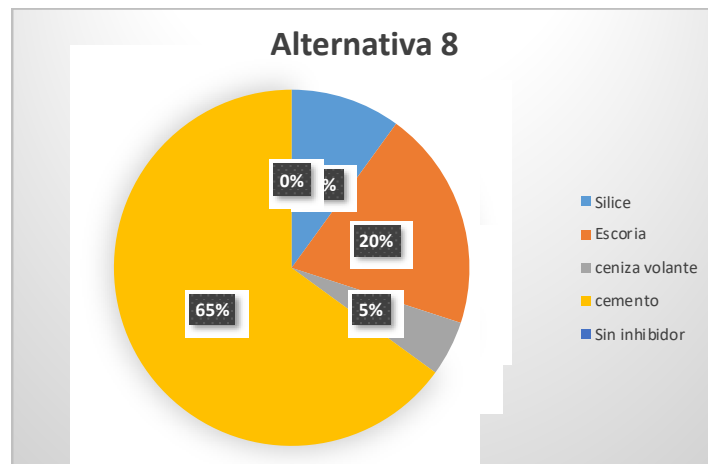
**Figura 1.15.- Alternativa 5, [Elaboración propia, 2021]**



**Figura 1.16.- Alternativa 6, [Elaboración propia, 2021]**



**Figura 1.17.- Alternativa 7, [Elaboración propia, 2021]**



**Figura 1.18.- Alternativa 8, [Elaboración propia ,2021]**

Se encontró, después de realizar simulaciones que la mejor dosificación se encontraba estableciendo el humo de sílice, la ceniza volante y la escoria en las proporciones anteriormente mencionadas. Por lo cual, la alternativa más óptima es la mezcla de estos tres aditivos cementantes y la adición del inhibidor de corrosión de 5 l/m<sup>3</sup>.

### **1.7 Costos**

Costo de reparación columna: \$235.38

Costo de reparación estribo (puente): \$299.43

### **1.8 Cronograma de Trabajo**

Anexo 1. Plan de Trabajo

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Parámetros de estudio

#### 2.1.1 Relación agua – cemento (a/c)

Las relaciones agua - cemento utilizadas en el programa Service Life 365 van desde 0,25 a 0,6 con lo cual se espera resistencias a la compresión del hormigón que van desde 556 kg/cm<sup>2</sup> a 230 kg/cm<sup>2</sup> todo esto sujeto a la variación a los materiales cementantes adicionados.

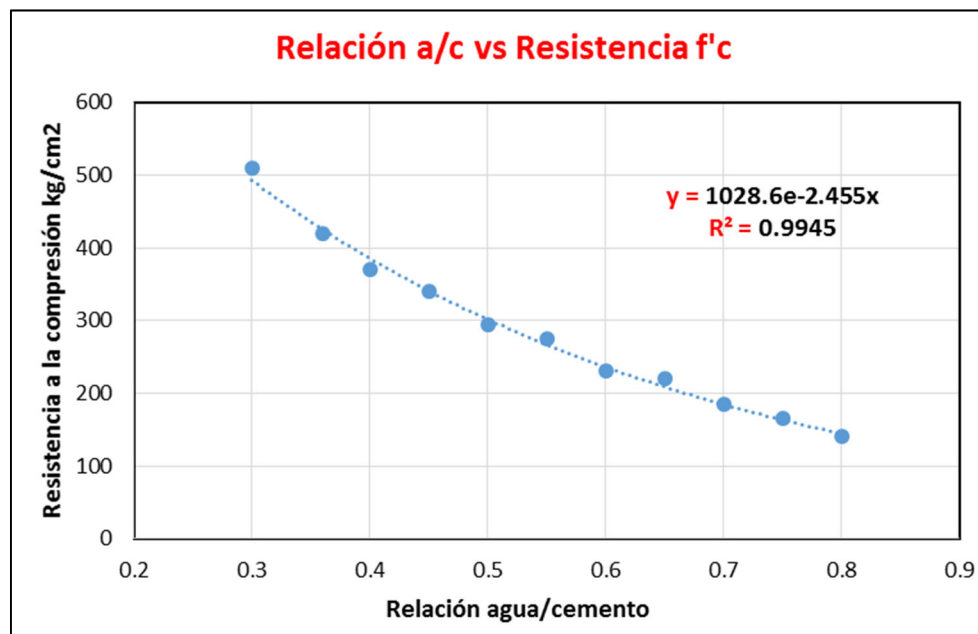


Figura 2.1 Gráfica de la variación de la Resistencia a la Compresión vs la relación agua/cemento, [Elaboración propia]

#### 2.1.2 Profundidad de refuerzo

La distancia más corta desde la superficie del hormigón hasta la armadura interior es la llamada profundidad del refuerzo que se degradará debido a estos cloruros (NEC-SE-HM, 2015). Este espacio es uno de los factores más importantes de este depende el tiempo que lleva la iniciación de la corrosión. Los valores sugeridos para estos recubrimientos se encuentran en ACI a esto se le debe añadir el diámetro del estribo, y con este valor ingresar al programa (ACI, 2018)

**Tabla 2.1 .- Requisitos para el concreto según la clase de exposición, [ACI, 2018]**

Clase de Exposición	Relación a/mc máx.	f'c Mínimo Mpa	Requisitos mínimos adicionales			Límites en los Materiales Cementantes
			Contenido de aire			
<b>F0</b>	N/A	17	N/A			N/A
<b>F1</b>	0.55	24	Tabla 19.3.3.1			N/A
<b>F2</b>	0.45	31	Tabla 19.3.3.1			N/A
<b>F3</b>	0.4	35	Tabla 19.3.3.1			26.4.2.2 (b)
			Tipo de material cementante			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C150 M	ASTM C595M	ASTM C1157M	
<b>S0</b>	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
<b>S1</b>	0.5	28	II	Tipo IP, IS o IT con designación (MS)	MS	Sin restricción
<b>S2</b>	0.45	31	V	Tipo IP, IS o IT con designación (HS)	HS	Sin restricción
<b>S3</b>	0.45	31	V más puzolanas o cemento de escoria	Tipo IP, IS o IT con designación (HS) más puzolanas o escorias	HS más puzolanas o escoria	No se permite
<b>W0</b>	N/A	17	Ninguna			
<b>W1</b>	0.5	28	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento		Requisitos adicionales	
			Concreto no preesforzado	Concreto preesforzado		
<b>C0</b>	N/A	17	1	0.06	Ninguno	
<b>C1</b>	N/A	17	0.3	0.06		
<b>C2</b>	0.4	35	0.15	0.06	Recubrimiento de concreto	

**Tabla 2.2.-Categorías y clases de exposición, [ACI, 2018]**

Categoría	Clase	Condición
<b>Congelamiento y deshielo (F)</b>	<b>F0</b>	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.
	<b>F1</b>	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad.
	<b>F2</b>	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad.

	<b>F3</b>	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes.	
<b>Sulfato (S)</b>		<b>Sulfatos solubles en agua (<math>SO_4^{2-}</math>) en el suelo, % en masa</b>	<b>Sulfato (<math>SO_4^{2-}</math>) disuelto en agua, ppm</b>
	<b>S0</b>	$SO_4^{2-} < 0.10$	$SO_4^{2-} < 150$
	<b>S1</b>	$0.10 \leq SO_4^{2-} < 0.20$	$150 \leq SO_4^{2-} < 1500$
	<b>S2</b>	$0.20 \leq SO_4^{2-} \leq 2.00$	$1500 \leq SO_4^{2-} \leq 10000$
	<b>S3</b>	$SO_4^{2-} > 2.00$	$SO_4^{2-} > 10000$
<b>En contacto con el agua (W)</b>	<b>W0</b>	Concreto seco en servicio Concreto en contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	<b>W1</b>	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
<b>Protección del refuerzo para la corrosión (C)</b>	<b>C0</b>	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	<b>C1</b>	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros.	
	<b>C2</b>	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

**Tabla 2.3 .- Recubrimiento especificado para elementos de concreto construidos en sitio no preesforzado, [ACI, 2018]**

<b>Exposición del concreto</b>	<b>Miembro</b>	<b>Refuerzo</b>	<b>Recubrimiento especificado, mm</b>
Construido contra el suelo y permanentemente en contacto con él.	Todos	Todos	75
Expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo	Todos	Barras No 19 a No 57	50
		Barra No 16, alambre, MW200 ó MD200, y menores.	40
No expuesto a la intemperie ni en	Losas, viguetas y muros	Barras No 43 y No 57	40
			20

contacto con el suelo		Barra No 36 y menores	
	Vigas, columnas, pedestales y amarres a tracción	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	40

### 2.1.3 Humo de Sílice

El valor del sílice fue determinado después de varias simulaciones en el programa Service Life 365, el máximo valor del humo del sílice que permite el software es 15% sin embargo, luego de cotejar este valor en publicaciones, normativas se pudo observar como influenciaba en la resistencia del hormigón y en la durabilidad se escogió el 10 % del contenido del cemento. (Gutiérrez & Cánovas, 1999), (Dapena, Ibarrola, & Llord, 2004), (Velásquez, 2014), (Bentz & Thomas, 2012),

### 2.1.4 Ceniza Volante

El porcentaje de puzolana escogida para simulación es de 5 % este valor se tomó de estudios previos donde se demostró mediante ensayos de laboratorio que el aumento en la resistencia fueron máximas en las primeras edades. (Rodríguez, 2012), (Lozano & Tabango, 2019), (Erik Castro, 2020).

Además una vez comprobada como afectaba su cantidad en porcentaje a la mezcla en el programa quedo como un valor fijo.

### 2.1.5 Escoria

El porcentaje de escoria se estableció en un 20% de acuerdo a varias investigaciones, en donde se detalla que es el porcentaje óptimo para la difusión de cloruros.



### 2.1.6 Inhibidor de corrosión

Life-365 selecciona valores de Dref y m basándose en los detalles de la composición de la mezcla de concreto (es decir, relación agua-material cementoso, w / cm, y el tipo y proporción de cementoso

El valor de m se basa en datos de la Universidad de Toronto y otros datos publicados y disminuye el coeficiente de difusión en el transcurso de 25 años, después de lo cual Life-365 lo mantiene constante en el valor de 25 años, para reflejar la suposición de que la hidratación es completa.

### 2.1.7 Máxima concentración de cloruros en la superficie de hormigón

Los valores de deposición de iones de cloruro en varias zonas del perfil costanero ecuatoriano dependen de factores como: la humedad, el viento, la temperatura, entre otros factores.

**Tabla 2.4 .- Valores promedios de deposición de cloruros para cada sitio de exposición, [Guerra et al., 2016]**

Sitio de exposición	Deposición de iones cloruro (mg/m2d)		
	VS	VH	Clasificación según VH
Viga 15	55.46	133.12	S2 60 < Sd <=300
Viga 30	69.53	166.87	
Viga 40	60.01	144.02	
<b>Promedio Total</b>	<b>61.66</b>	<b>148</b>	

**Tabla 2.5 .- Valores de deposición de sales de iones de cloruro obtenidos por el método de la vela húmeda en varias zonas del perfil costanero del Ecuador, [Guerra et al., 2016]**

Sitio de exposición	Deposición de iones cloruro (mg/m2d)	Clasificación de la atmósfera
Guayaquil	1	Rural
Salinas	47.3	Costera
Esmeraldas	19	Costera
San Cristóbal	25	Costera
Refinería/Esmeralda	12.07	Industrial*
Colegio Tello/Esmeralda	16.4	Costera
Capitanía del puerto/Esmeralda	25.97	Costera
Municipio/Esmeralda	19.35	Costera

\* La deposición de compuestos de azufre fue de 31.6 mg/m<sup>2</sup>d.

## 2.2 Casos de estudios

Tomar en cuenta las limitaciones del programa Servise Life 365, solo permite analizar, columnas cuadradas, circulares y losas o muros en una dirección.

### Caso 1 .Edificio Txopituna (Manta)

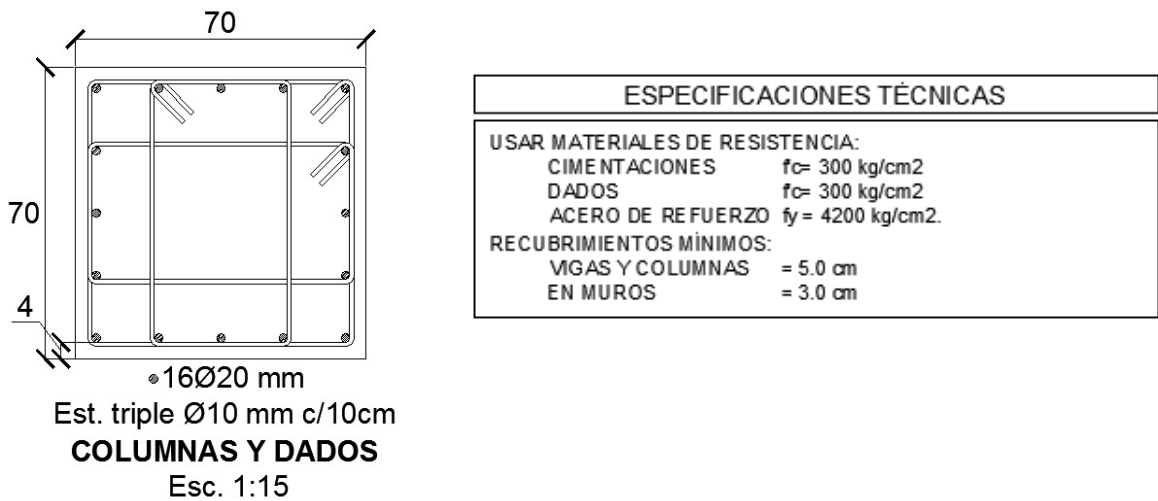
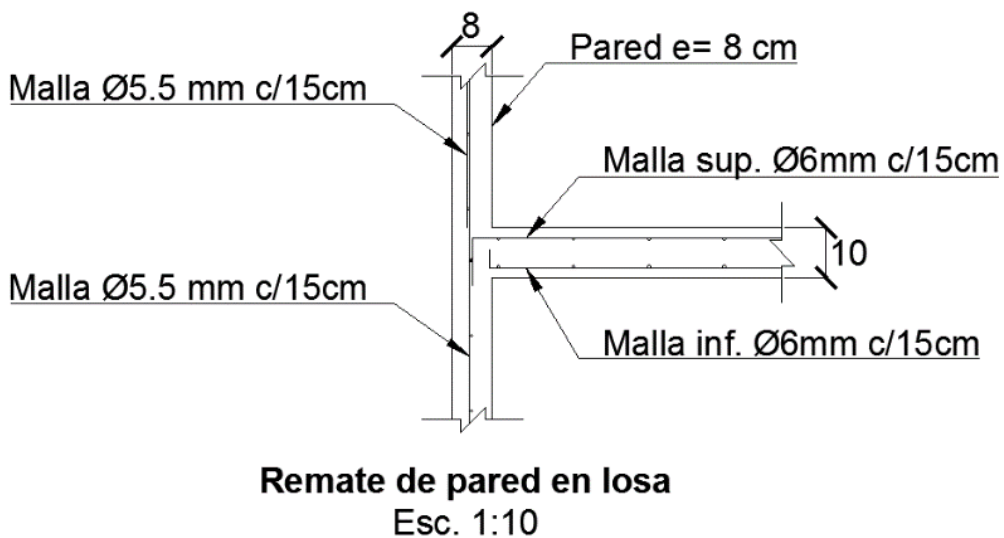


Figura 2.2 .- Primer caso de estudio

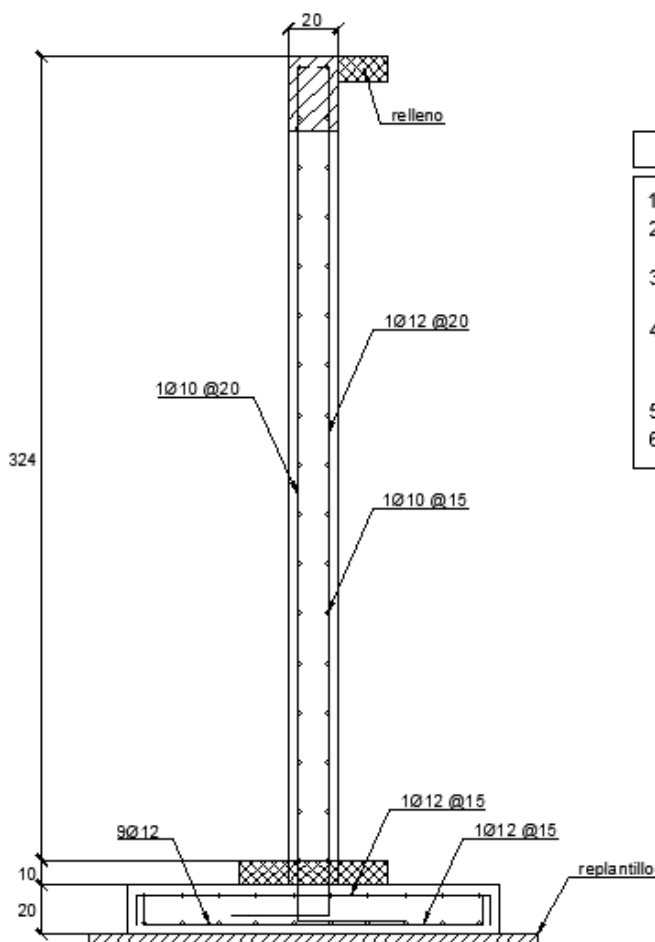
### Caso 2 .Condominio Torre 5 (Daule)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
HORMIGÓN	$f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$
ACERO	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
	$f_y = 5000 \text{ kg/cm}^2$ (electrosoldado)
RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS SEGÚN ACI 318-08, HORMIGÓN CONSTRUÍDO EN SITIO (NO PREESFORZADO)	
- Hormigón vaciado directamente en el suelo y expuesto permanentemente a él	= 75 mm
- Hormigón expuesto al suelo o a la intemperie	
Barras #20mm y mayores	= 50 mm
Barras #16 mm y menores	= 40 mm
- Hormigón no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo	
Losa, muros y viguetas:	
Barras #35mm y menores	= 20 mm
Vigas, columnas:	
Refuerzo principal	= 40 mm
Estribos espirales	= 40 mm
Cáscaras, placas plegadas:	
Barras #20mm y mayores	= 20 mm
Barras #16mm y menores	= 15 mm

Figura 2.3- Segundo caso de estudio

### Caso 3 .Residencia “Barcia Torres” (Manta)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
1.- RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PRE MESCCLADO	$f_c = 210 \text{ k/cm}^2$
2.- ACERO DE REFUEZO	$F_y = 4200 \text{ k/cm}^2$ . SOLO SE USARÁ ACERO CORRUGADO
3.- RECUBRIMIENTO PARA EL ACERO DE REFUEZO	a).- TODAS 4 CM.
4.- MÉTODOS DE DISEÑO:	
- ACERO:	ASD (CÓDIGO AISC-LRFD)
- HORMIGÓN:	CÓDIGO ACI-318-14
5.- CARGA VIVA UTILIZADA EN EL DISEÑO:	200 k/cm <sup>2</sup>
6.- USAR 1 FUNDA DE FIBRAS PARA HORMIGÓN	POR CADA m <sup>3</sup>

Figura 2.4.- Tercer caso de estudio

## Caso 4 .Residencia Familiar Zambrano Arroyave (Manta)

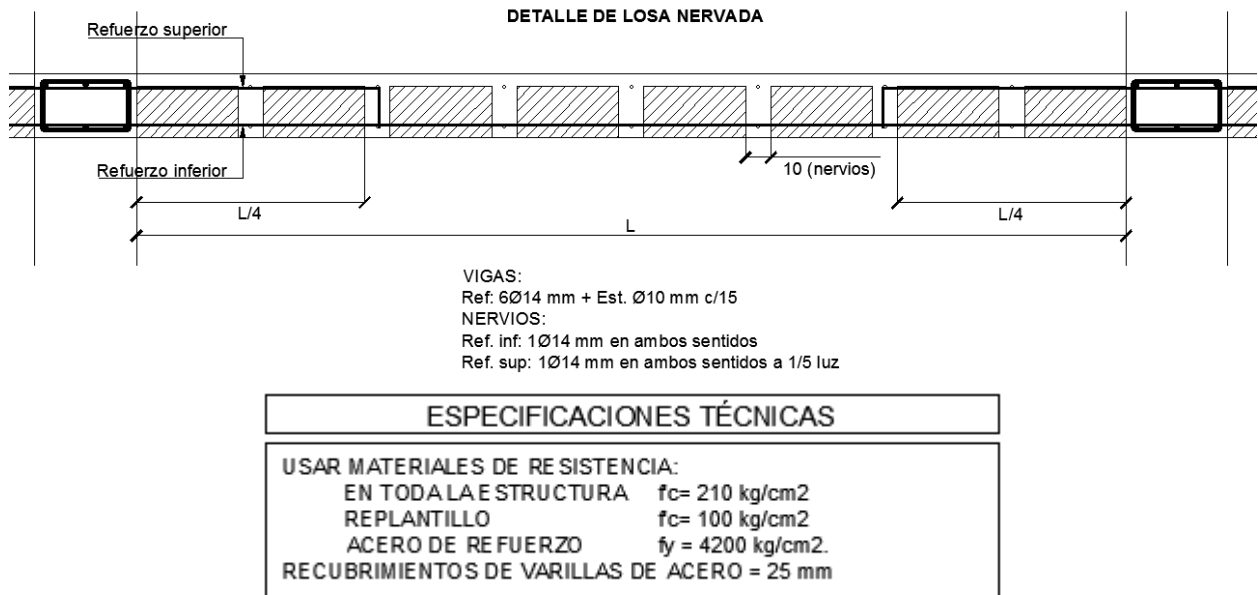


Figura 2.5.- Cuarto caso de estudio

### 2.3 Procedimiento

Para el uso del programa Service Life 365 una vez obtenido todos los parámetros y los casos que se va a analizar abrimos el programa el cual cuenta con dos versiones una para el sistema operativo de Windows y otro para el macOS en su página principal.

**Life-365™**

- ↳ Descripción general del software
- ↳ El consorcio Life-365
- ↳ Recursos
- ↳ Vídeos de formación
- ↳ Descargar software / manual
- ↳ Contáctenos
- ↳ Casa

### Descarga del manual de usuario / software Life-365

Life-365 es un modelo estándar desarrollado para predecir la vida útil y el costo del ciclo de vida del concreto reforzado expuesto a cloruros. Se formó un consorcio industrial formado por la Asociación Nacional de Concreto Premezclado, la Asociación de Inhibidores de Corrosión del Concreto, la Asociación de Cemento de Escoria y la Asociación de Humos de Sílice para financiar el desarrollo de Life-365.

Actualmente, la versión 2.2.3 del modelo estándar se lanzó en enero de 2018 y está disponible para descargar a continuación. Descargue el Manual de usuario que contiene una explicación completa de la base utilizada por los desarrolladores de este modelo, así como las instrucciones para su uso.

El Consorcio da la bienvenida y necesita la contribución de la industria para un mayor desarrollo del modelo. Los objetivos del proceso de desarrollo estarán en armonía con el Comité 365 de ACI - Predicción de la vida útil.

Descargue Life-365: haga clic en el enlace apropiado para su sistema operativo y siga las instrucciones de instalación a continuación:

Versión actual: 2.2.3

- [Archivo de instalación de Windows Life-365 v.2.2.3](#)
- [Archivo de instalación de Life-365 v.2.2.3 Mac OSX](#)
- [Manual de usuario de Life 365](#) - Archivo PDF de 6 MB

Figura 2.6.- Página principal de del software Servicio Life 365, [Elaboración propia, 2021]

La interfaz que posee el programa es bastante amigable con el usuario y permite trabajar de manera directa con los valores obtenidos a través de investigaciones propias o sugeridas por el programa. El programa esta avalado por Master Builders , Cortec , NRMCA, Sika ,gcp ,EIG ,EUCLID CHEMICAL, SCA,SFA los cuales son proveedores de materiales para la elaboración de hormigones estructurales .En su pantalla inicial podemos ver las opciones para crear un nuevo proyecto, abrir un proyecto existente , o solicitar ayuda para Windows , utilizar valores por defecto e información acerca del programa .

El uso del programa consta de 5 pasos a continuación:

- Establecer la alternativa de condiciones del proyecto y los parámetros del estudio económico
- Establecer las condiciones ambientales a las que están expuestas las mezclas alternativas de hormigón
- Especificar los diseños de mezcla de hormigón para cada alternativa
- Compilar los costos del proyecto para cada alternativa de proyecto, y
- Calcular la vida útil y los costos del ciclo de vida

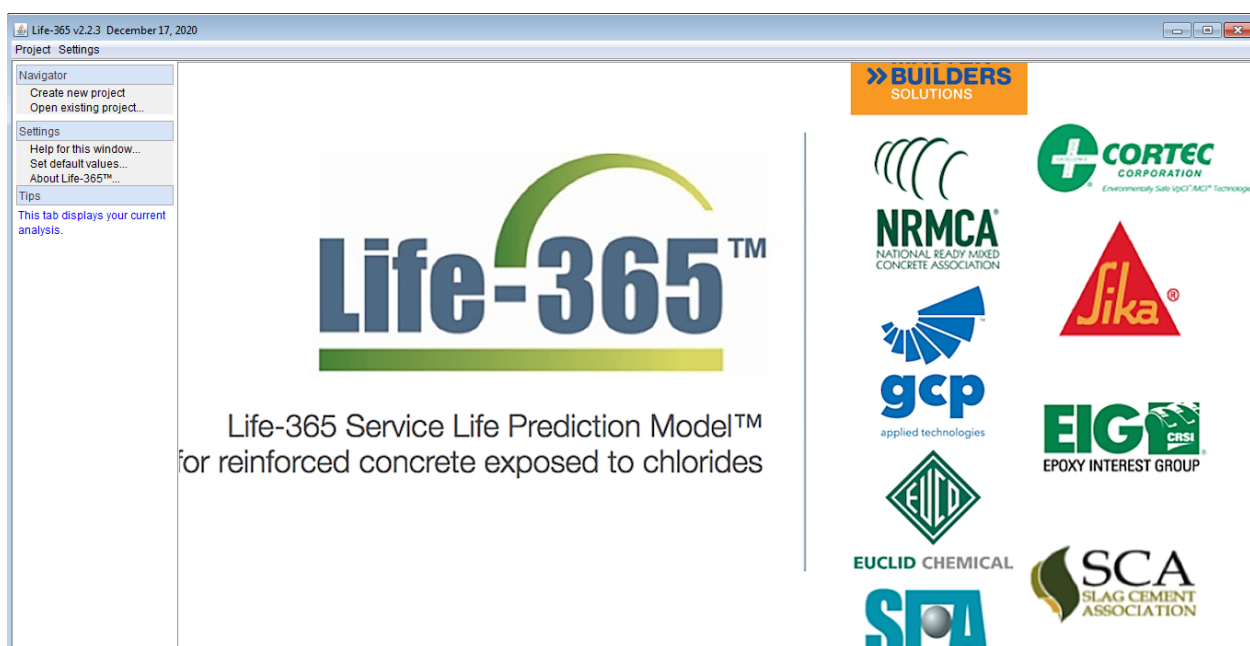


Figura 2.7.- Pantalla de inicio del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]

Una vez que damos click en un nuevo proyecto tenemos recuadros se puede ir llenando

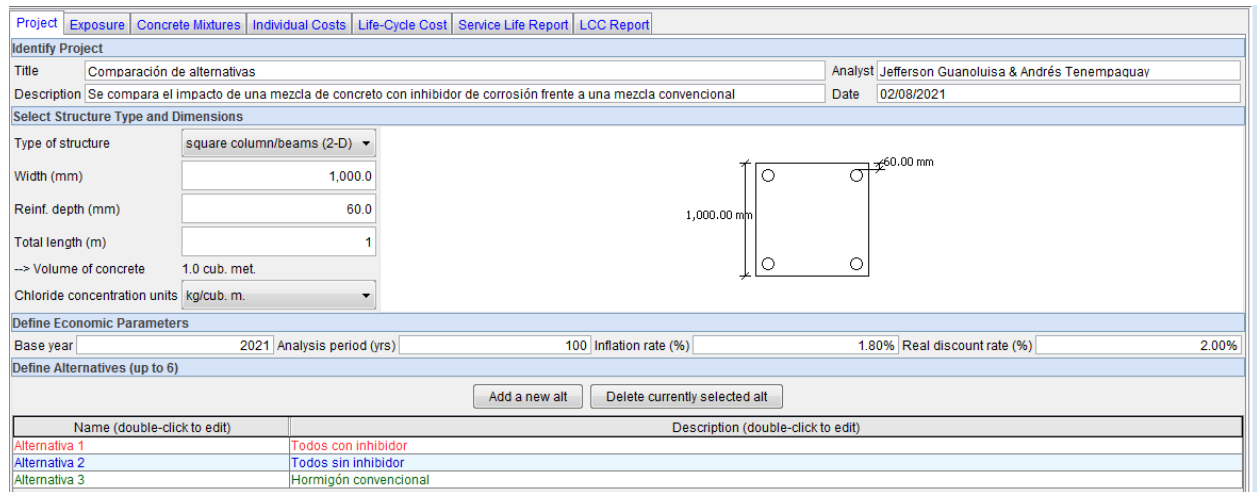


Figura 2.8.- Interfaz de proyecto del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]

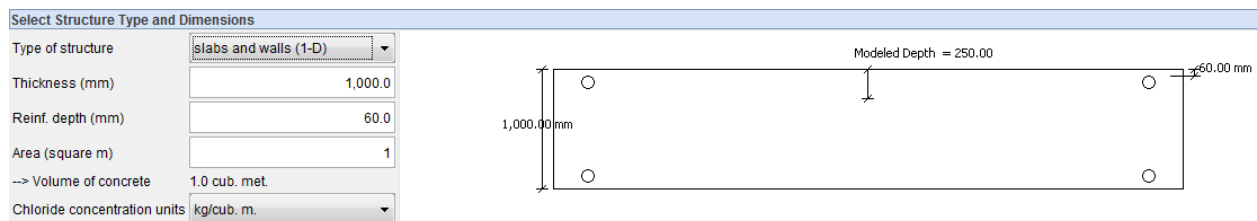
A continuación se detallan los aspectos de la Figura 2.8 en detalle:

### En identificar proyecto

Podemos colocar el título del proyecto, descripción, nombre del analista, fecha

### En tipo de estructura y dimensiones

Se puede variar el tipo de estructura pudiendo esta ser columnas y vigas cuadradas 2D, columnas circulares 2D, losas y muros en 1D, se debe colocar la concentración de cloruros pudiendo esta estar presente en kg/m<sup>3</sup> o en % del peso del concreto.





**Figura 2.9.- Tipos de estructuras del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

Para el caso de las columnas se debe ubicar el ancho, la profundidad del reforzamiento longitudinal, y la longitud que se va a analizar. En el caso de las columnas circulares se debe ubicar los mismos parámetros con la diferencia que se debe colocar el diámetro. Para el caso de las losas y los muros se deben ubicar el espesor, la profundidad de reforzamiento (recubrimiento hasta las varillas longitudinales) y el área del muro

### **2.3.1 Definición de parámetros económicos**

#### En año base

En este apartado se ubica el año con el cual se inicia el análisis.

#### Periodo de análisis

Se ubican los años que se van a analizar la estructura.

#### Velocidad de inflación

Se analiza esta velocidad de inflación de acuerdo a las estadísticas y las proyecciones que se hacen en el lugar donde se está analizando el proyecto.

#### Tasa de descuento real

Es la proyección que se evalúa de acuerdo a los proveedores y los posibles descuentos

#### Definición de alternativas

Aquí podemos encontrar el caso base, y un máximo de 5 alternativas más donde se puede hacer comparaciones con la variación de parámetros

### **2.3.2 Exposición**

A continuación se detalla las opciones que se presentan en la pestaña de “Exposición” de acuerdo a la Figura 2.9:

Seleccione el método para configurar la concentración externa y el perfil de temperatura.

Se pueden usar los valores por defecto que vienen en ubicación, sub ubicación, y el tipo de exposición dependiendo de la cercanía que tiene con el perfil costanero. También se puede ingresar los valores manualmente tomando en cuenta que la base de datos del programa se basa en ubicaciones específicas en EEUU, Canadá, y países cercanos.

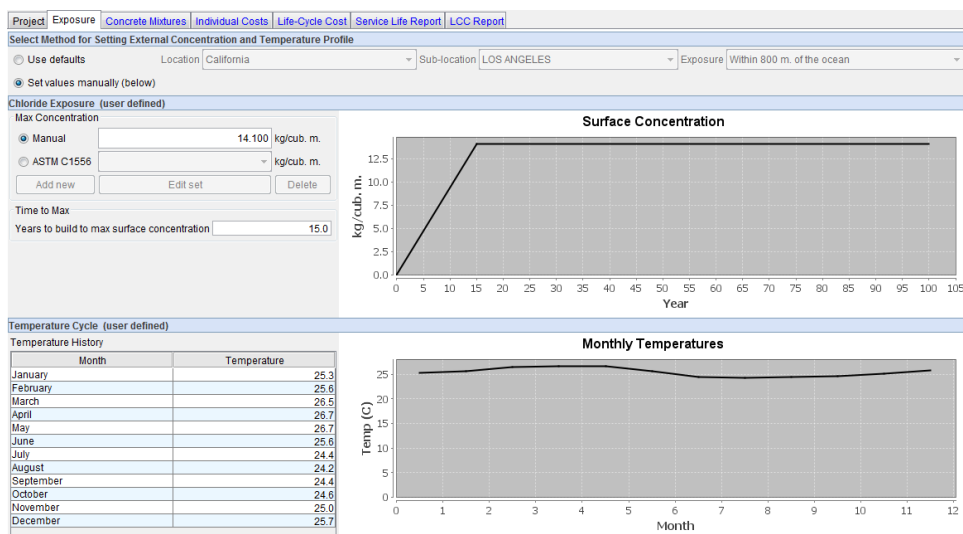
Exposición de cloruros

Se puede usar los que están por defecto tomando en cuenta las concentraciones que vienen en el programa podrían ser similares en las ubicaciones.

También se puede ingresar las concentraciones en las normas del ASTM C 1556 donde se ubica a través de las máximas concentraciones a profundidades ingresadas manualmente. Se ingresa también manualmente las concentraciones de ser necesario. Además se ingresa el tiempo en el cual se llega a esa concentración máxima esta puede ser colocada de manera manual o los años que vienen por defecto.

Ciclo de temperatura

Aquí se puede ubicar la temperatura de la zona que se esta analizando estos valores los podemos encontrar en el INAMHI o usar los valores por defecto aunque esto no es aconsejable ya que la temperatura tiene gran incidencia en la corrosión.



**Figura 2.10.- Pestaña de EXPOSICIÓN del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**



### 2.3.3 Mezclas de concreto

A continuación se detalla las opciones que se presentan en la pestaña de “Exposición” de acuerdo a la Figura 2.11:

#### Definir mezclas de concreto (seleccionar una mezcla para editar las propiedades)

En este recuadro encontramos el nombre, el uso, la velocidad de difusión de los cloruros el cual depende de la mezcla ( $D_{28}$  ( $m^2/m/sec$ )), índice de desintegración de la difusión el cual viene con una constante ( $m$ ), el  $C_t$  (valor máximo que debe llegar la concentración en la cara de la varilla) para empezar la corrosión, el periodo de iniciación  $t_{init}$  (años), el periodo de proyección (años), vida de servicio = iniciación + propagación.

La composición de la mezcla va a depender de la dosificación que se tenga previsto realizar donde los parámetros que se pueden variar y sus rangos se detallan a continuación:

- La relación agua/cemento  $w/cm$  esta entre el (0,25 y 0,6)
- Cenizas volantes clase F (%) el rango está entre (0 y 50 %)
- Escoria (%) el rango está entre el (0 y 70 %)
- Humo de sílice (%) esta entre el (0 y 15%)
- Barra de refuerzo ( acero , recubierto de epoxi, 316 inoxidable)
- varilla% vol. hormigón (0 y 30%)
- Inhibidor : Nitrito de calcio (5 L/cub.met, 10 L/cub.met, 12,5 L/cub.met, 15 L/cub.met , 17,5 L/cub.met , 20 L/cub.met , 22,5 L/cub.met , 25 L/cub.met , 27,5 L/cub.met , 30 L/cub.met ), Aminas y éteres (A-5 L/cub.met), o ninguno.
- Barreras: Ninguna, selladoras, membrana.

El botón de Personalizado permite ingresar la difusión de manera manual , y el índice de desintegración de la difusión ( $m$ ), hidratación y concentración máxima en la cara de la varilla ( $C_t$ ) y el periodo de propagación ya que el programa ubica un valor de 6 años por defecto.

Name	User Defined	D28 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> sec)	m	Ct (kg/cub. m.)	Init. (yrs)	Prop. (yrs)	Service Life (yrs) = Init + Prop
Alternativa 1	no	2.0214E-12	0.35	2.820	90.4	6.0	96.4
Alternativa 2	no	2.2460E-12	0.35	1.175	41.8	6.0	47.8
Alternativa 3	no	1.1695E-11	0.20	1.175	7.6	6.0	13.6

Mixture	Rebar	Barriers
w/cm: 0.47	Rebar steel type: Black Steel	<none>
Class F fly ash (%): 5.00%	Rebar % vol. concrete: 1.20%	
Slag (%): 20.00%	Inhibitor: A&E - 5 L/cub. met	
Silica fume (%): 10.00%		

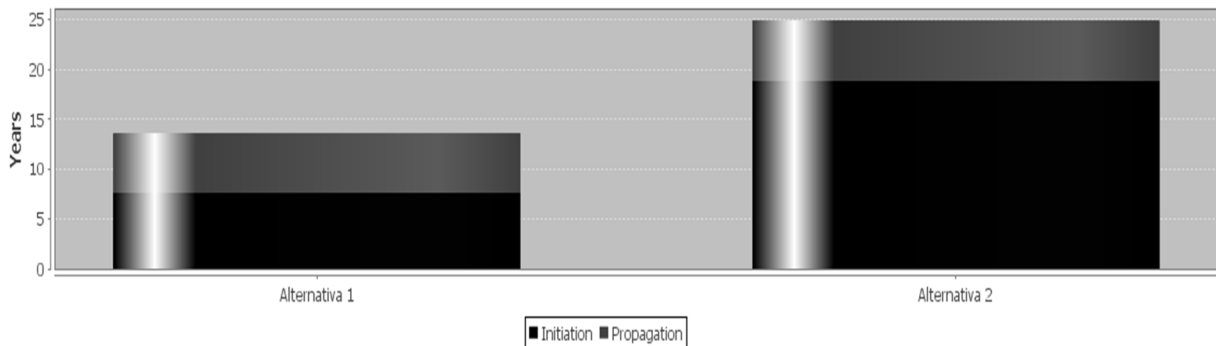
Custom: D28 (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>sec) 2.0214E-12 m 0.35 Hydration (yrs) 25.0 Ct (kg/cub. m.) 2.82 Prop. (yrs) 6.0

**Figura 2.11.- Pestaña de MEZCLA DE CONCRETO en el software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

### 2.3.4 Gráfico de vida útil

#### Vida útil

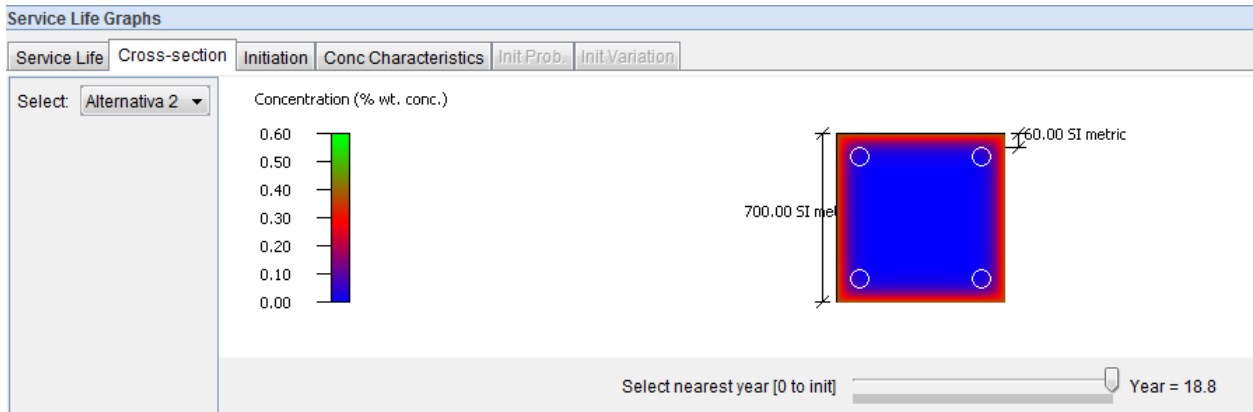
Este gráfico permite visualizar las alternativas vs años desde la etapa de concepción denotada por un color más oscuro y el costo de reparación en el periodo de vida útil representado por un color gris, de esta forma se visualiza mejor las ventajas y desventajas



**Figura 2.12 .- Vida útil de cada alternativa obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

#### Sección transversal

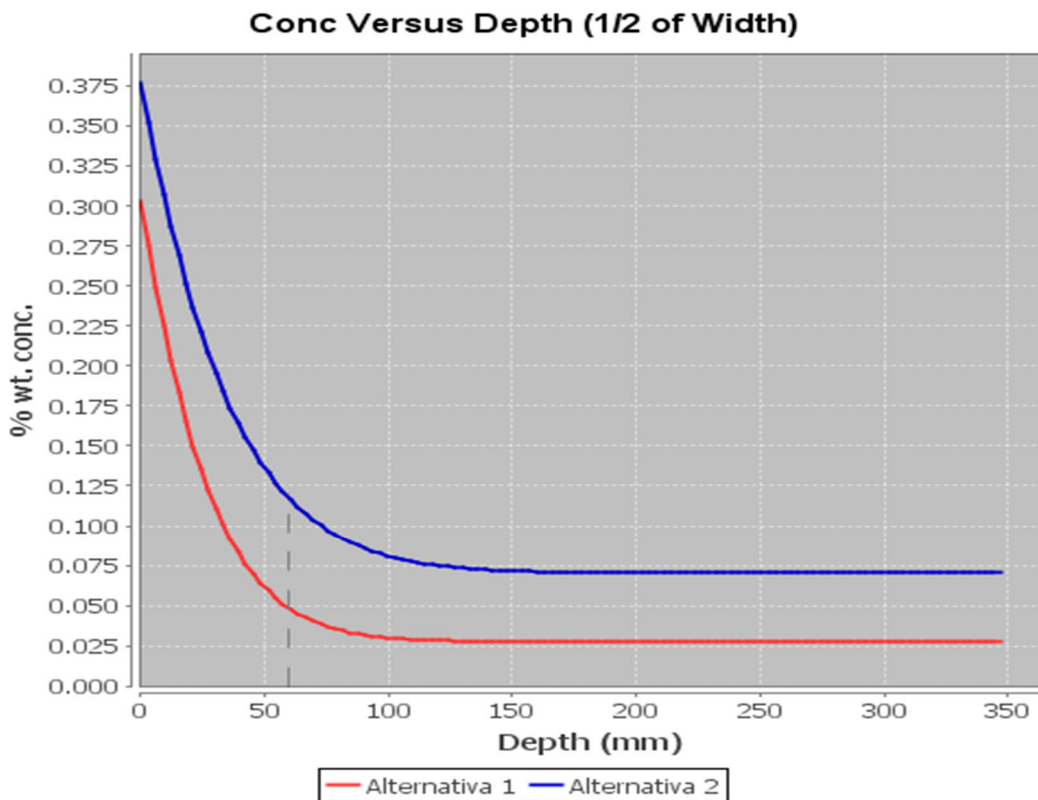
En esta grafica se puede observar la concentración en (kg/cub.m) en una escala se puede observar como a través de los años los cloruros penetran el hormigón y se concentran en la cara de la varilla.



**Figura 2.13 .- Concentración de cloruros en la sección transversal de cada alternativa, [Elaboración propia, 2021].**

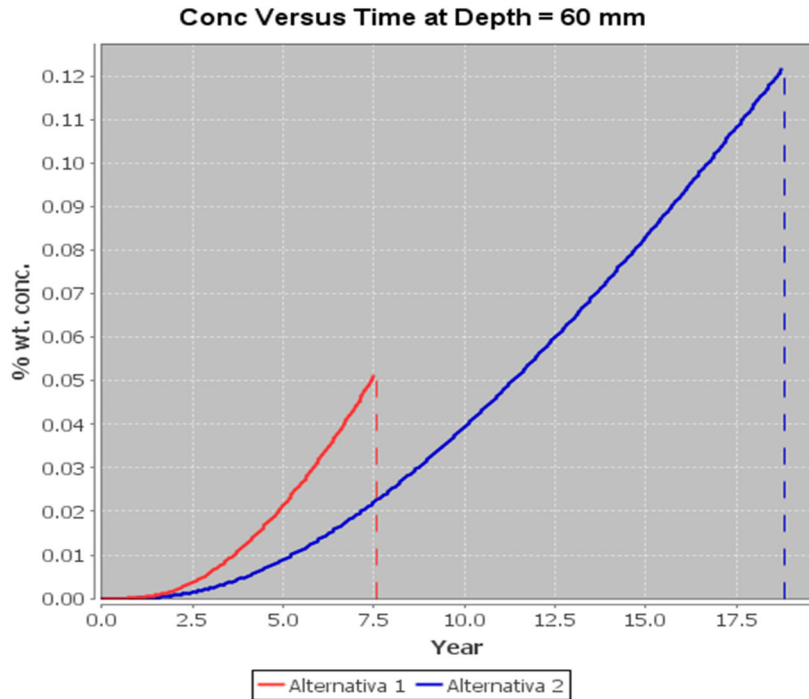
Iniciación

En la primera grafica se puede observar la concentración en el centro de la base del elemento



**Figura 2.14 .- Gráfica de concentración de cloruros vs profundidad de penetración, [Elaboración propia, 2021].**

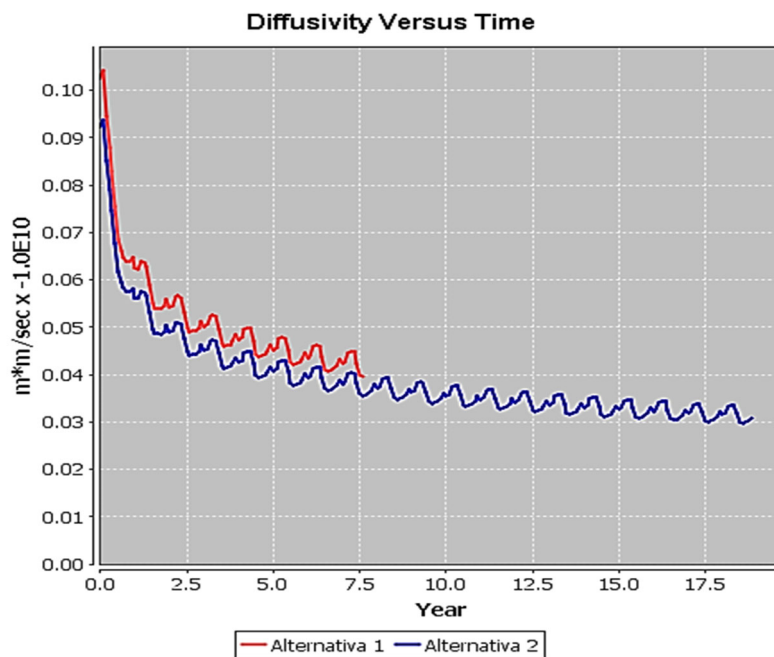
En la segunda grafica se puede observar la concentración vs tiempo en la cara de la varilla.



**Figura 2.15 .-** Gráfica de concentración de cloruros en la superficie de la varilla de refuerzo a lo largo del periodo de análisis, [Elaboración propia, 2021]

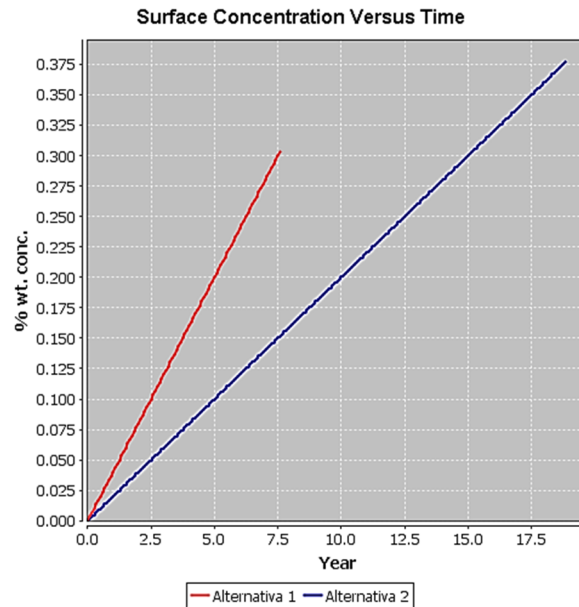
Características del concreto

La Figura 2.16 describe la difusión vs tiempo, se puede observar como la variación se ve afectada por la temperatura.



**Figura 2.16 .-** Gráfica de difusión de cloruros vs tiempo obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]

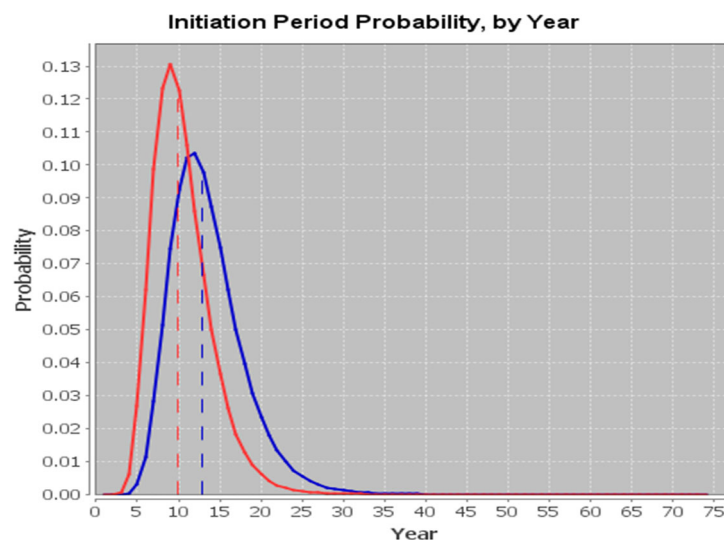
La Figura 2.17 muestra la concentración en la superficie vs tiempo, aquí podemos observar como la concentración va aumentando a través del tiempo el cual corresponde a una función lineal creciente.



**Figura 2.17 .- Gráfica de concentración de cloruros en la superficie obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

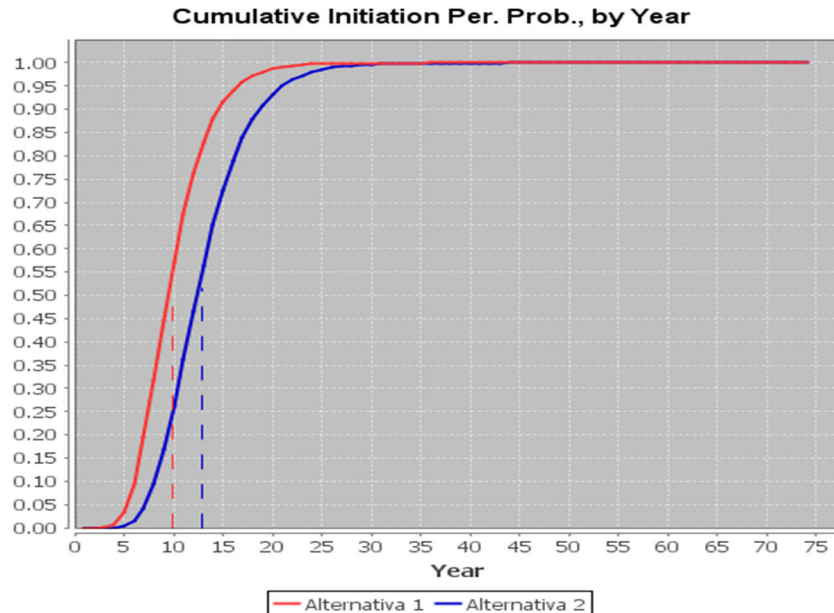
Probabilidad de iniciación

Esta opción se habilita cuando se ingresan los valores de concentración, difusión, concentración máxima en la cara de la varilla, tiempo de hidratación, índice de decaimiento, y el periodo de propagación En la Figura 2.18 se observa la probabilidad del periodo de iniciación.



**Figura 2.18 .- Gráfica de la probabilidad del periodo de iniciación obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

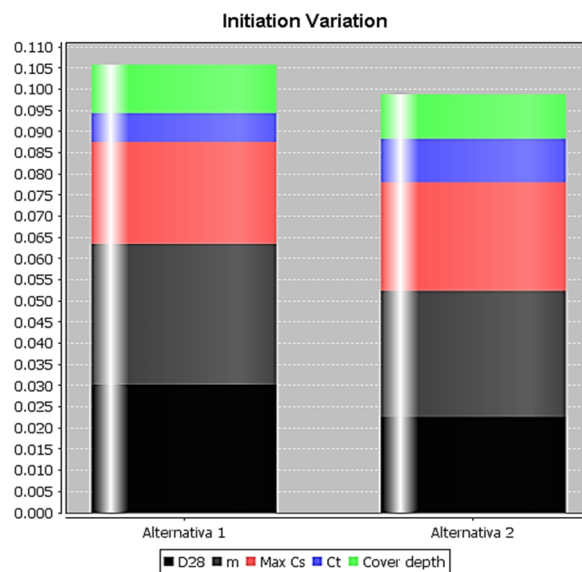
En la Figura 2.19 muestra la acumulación del periodo de iniciación por año, este permite observar en que tiempo sería el más probable que se dé el periodo de iniciación.



**Figura 2.19.- Gráfica de acumulación del periodo de iniciación por año obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

Iniciación de variación

Esta grafica permite ver en un diagrama de barras la difusión a los 28 días (D28), el índice de decaimiento (m), la concentración máxima (max Cs), y el recubrimiento.



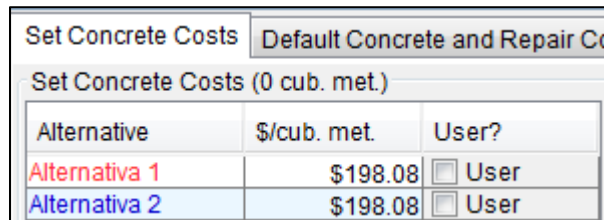
**Figura 2.20 .- Gráfica de variación de iniciación obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

## 2.3.5 Costos individuales

### 2.3.5.1 Costos unitarios de hormigón y reparación

#### Fijar costos concretos

Aquí se puede ir ingresando los valores de las diferentes alternativas por metro cúbico, para el ingreso de estos valores se debe hacer un análisis aparte.

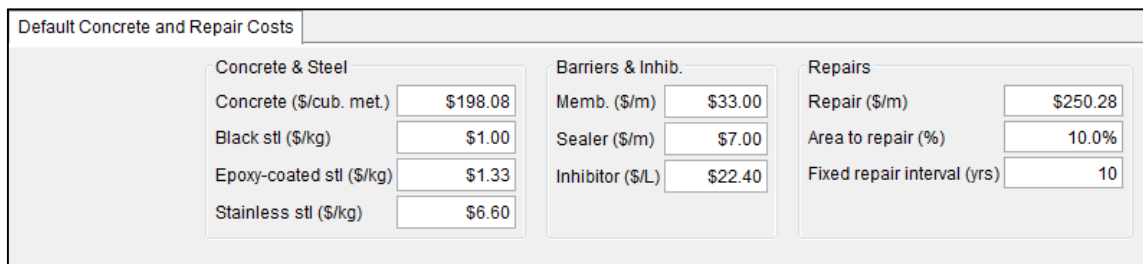


Alternative	\$/cub. met.	User?
Alternativa 1	\$198.08	<input type="checkbox"/> User
Alternativa 2	\$198.08	<input type="checkbox"/> User

**Figura 2.21 .- Costos fijos de los hormigones de cada alternativa, [Elaboración propia, 2021].**

#### Costos predeterminados de hormigón y reparación

En este apartado se encuentra los valores por defecto acerca del precio del concreto, acero, los inhibidores, las barreras y reparaciones.



Concrete & Steel		Barriers & Inhib.		Repairs	
Concrete (\$/cub. met.)	\$198.08	Memb. (\$/m)	\$33.00	Repair (\$/m)	\$250.28
Black stl (\$/kg)	\$1.00	Sealer (\$/m)	\$7.00	Area to repair (%)	10.0%
Epoxy-coated stl (\$/kg)	\$1.33	Inhibitor (\$/L)	\$22.40	Fixed repair interval (yrs)	10
Stainless stl (\$/kg)	\$6.60				

**Figura 2.22 .- Costos predeterminados para el elemento de hormigón armado, [Elaboración propia, 2021]**

En selección de alternativa se puede ir viendo como se proyectan los valores para cada alternativa donde se toma en cuenta (costo del concreto, costo de las varillas de acero, costo de inhibidor en el caso de existir, costo de las barreras y costo de reparación).

#### Costos del proyecto para alternativas

En este recuadro se puede observar nombre de los costos, el año de inicio, el año de finalización, el intervalo, la cantidad, el precio por metro cubico y el costo total calculado para cada alternativa donde se pone en evidencia el costo de construcción y el de reparación.

Project Costs for Alternativa 1							
Cost name	Start year	End year	Interval	Amount	units	\$/m	Total
Construction cost	0	0	0	1	meters	\$136.27	\$136
Repair cost	13	75	10	0.3	m	\$250.28	\$70

**Figura 2.23.- Costos de la estructura de hormigón armado durante el periodo de análisis, [Elaboración propia, 2021].**

## 2.3.6 Costo del ciclo de vida

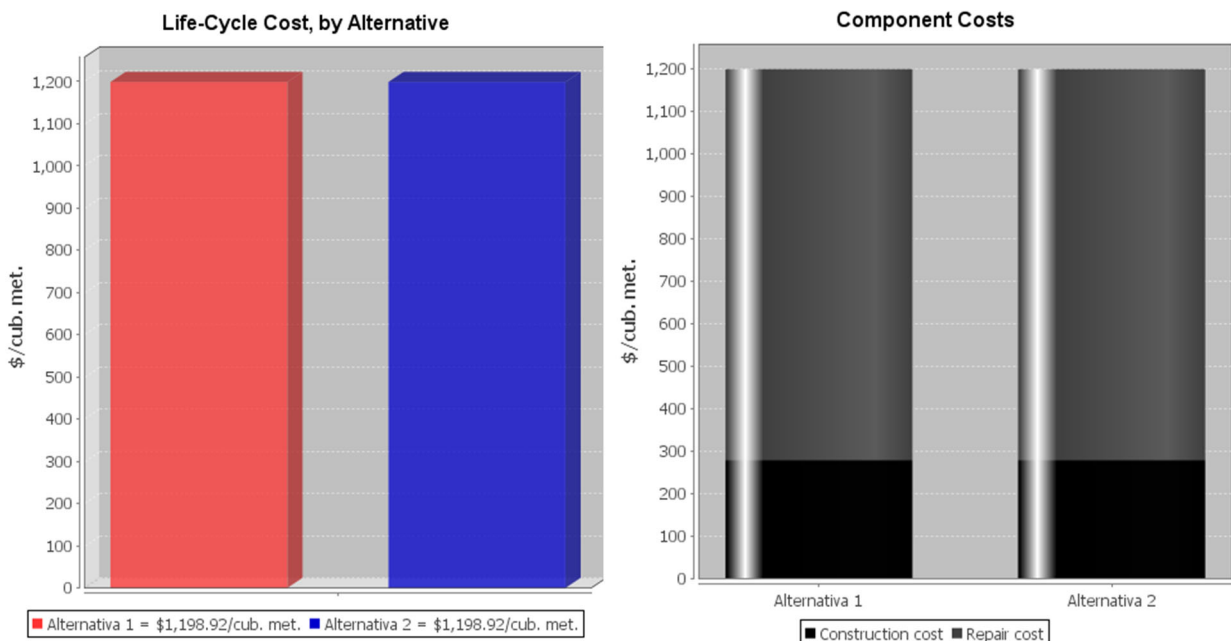
### 2.3.6.1 Mostrar el costo del ciclo de vida

En esta pestaña se obtienen los resultados de manera total o en unidades de costo pudiendo estas ser dimensión de la estructura (longitud del elemento) o volumen del concreto, definidos al inicio del proyecto en la pestaña proyecto.

#### Costo de ciclo de vida

Se observa un tabla donde esta el nombre de las alternativas, el costo de construcción, costo de las barreras, costo de reparación, el costo total (costo del ciclo de vida).

Life-Cycle Cost					
Table		Timelines	Sensitivity Analysis		
Name	Construction Cost	Barrier Cost	Repair Cost	Life-Cycle Cost	
Alternativa 1	\$278.11	\$0.00	\$920.81	\$1,198.92	
Alternativa 2	\$278.11	\$0.00	\$920.81	\$1,198.92	



**Figura 2.24 .- Costos del ciclo de vida de ambas alternativas, [Elaboración propia, 2021].**

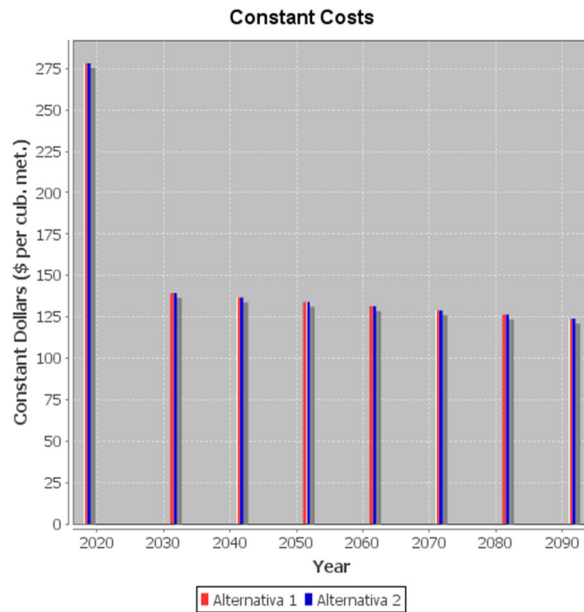


### 2.3.6.2 Líneas de tiempo

Esta pestaña muestra cuatro gráficas a continuación:

#### Costos constantes

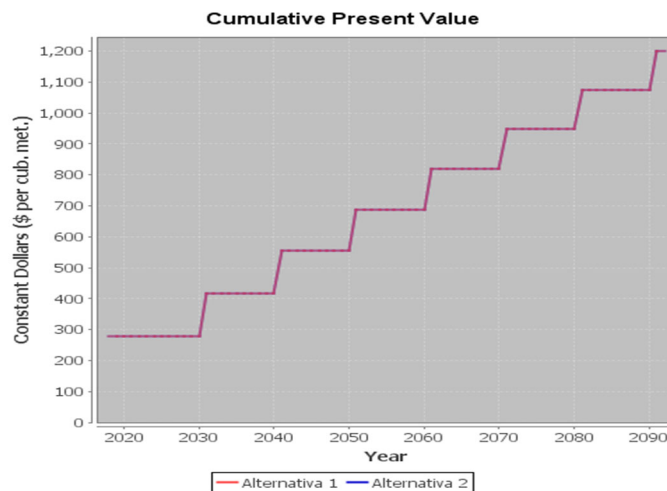
Esta se representa media un grafico de barras en donde se aprecia la constante en dólares vs años de las diferentes alternativas.



**Figura 2.25 .- Gráfica de los costos constantes obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

#### Costos acumulativos constantes

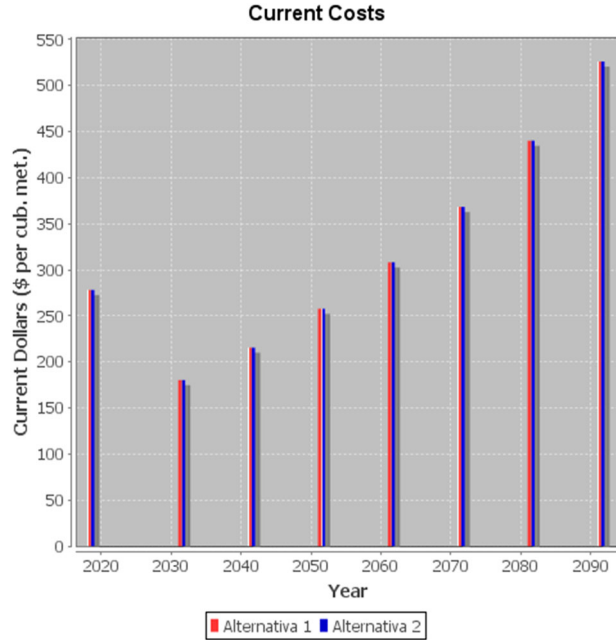
La siguiente figura presenta valor presente acumulativo vs la constante dólares de las diferentes alternativas.



**Figura 2.26.- Gráfica de los costos acumulativos constantes obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

### Costos actuales

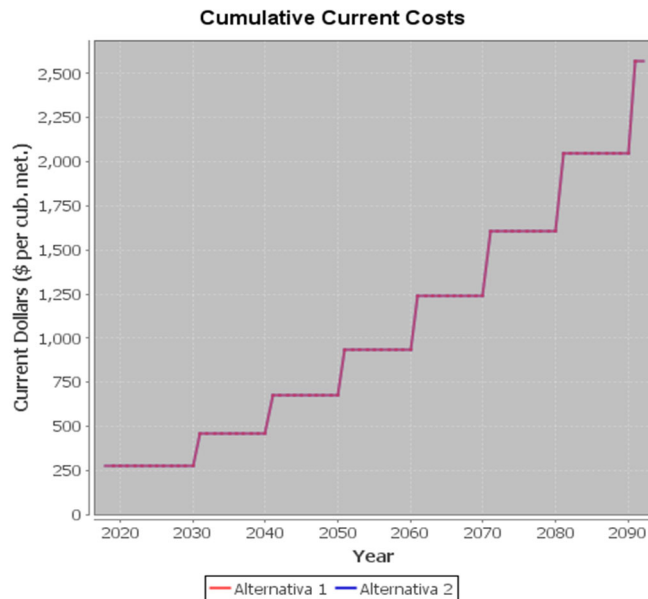
La grafica muestra los constantes de costos actuales vs año de las diferentes alternativas.



**Figura 2.27.- Gráfica de los costos actuales obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

### Costos corrientes acumulados

La grafica muestra el precio en dólares por metro vs años de las diferentes alternativas.



**Figura 2.28.- Gráfica de los costos corrientes acumulados obtenida del software Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

### 3.6.4 Reporte de servicio de vida

En esta pestaña se encuentra el reporte que genera el programa donde se puede observar los datos más esenciales como nombre del proyecto, descripción, nombre del analista, fecha de análisis, el gráfico de la sección, concentración máxima en la superficie, la temperatura a través de los años, las mezclas de concreto, y las propiedades de difusión y vida de servicio.

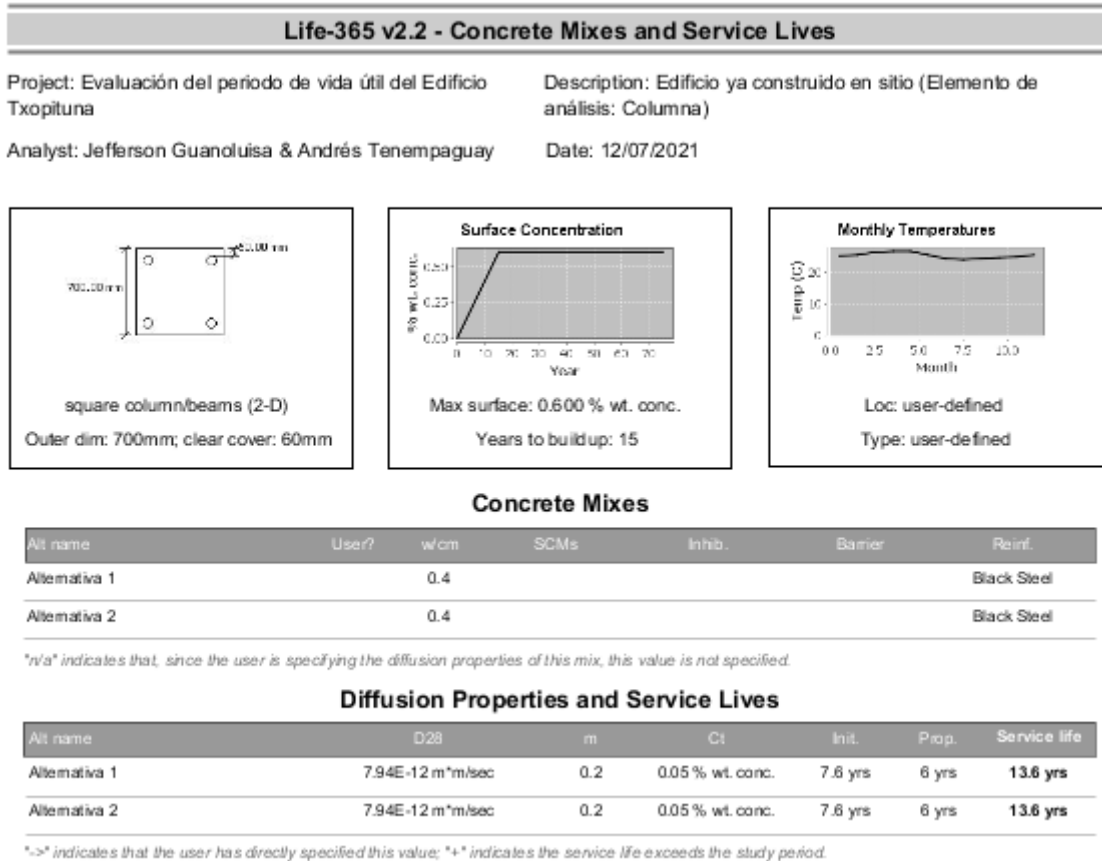


Figura 2.29 .- Reporte de servicio de vida, [Elaboración propia, 2021]

### 3.6.5 Reporte del costo del ciclo de vida

Además de los datos esenciales del proyecto, se muestra el costo del ciclo de vida y los gráficos correspondientes al análisis de costos ya mencionados anteriormente

## Life-365 v2.2 - Life-Cycle Costs

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Edificio T  
 opituna

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis : Columna)

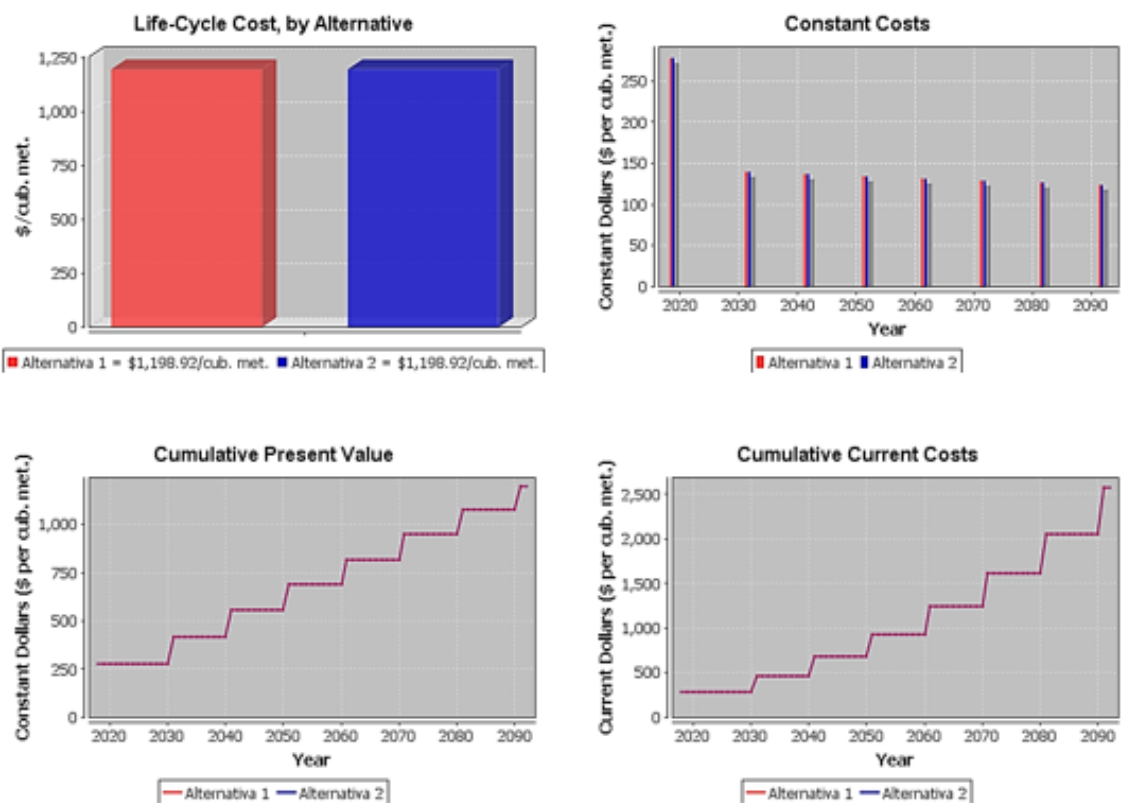
Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021

### Life-Cycle Costs

Alternativa 1	\$278.11 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$920.81 per cub. met.	\$1,198.92 per cub. met.
Alternativa 2	\$278.11 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$920.81 per cub. met.	\$1,198.92 per cub. met.

### Graphs



**Figura 2.30.- Reporte del costo del ciclo de vida, [Elaboración propia, 2021]**

Todos estos reportes pueden ser guardados e impresos.

# CAPÍTULO 3

## 3. MEMORIA TÉCNICA

Este capítulo abarca el diseño estructural de una pequeña edificación, con la finalidad de analizarla posteriormente con el software Service Life.

### 3.1 Información General

El presente capítulo se enfoca en una modelización con el programa Etabs a fin de comprobar el comportamiento de una edificación diseñada con un hormigón realizado con materiales extraídos de la ciudad de Manta en la cantera el chorrillo, el cual fue elaborado con materiales cementantes provenientes de Latacunga como la puzolana, la escoria, y la aportación de micro sílice que incrementaron su capacidad de resistencia a los cloruros, siendo este un problema constante de las edificaciones con cenaría al mar, sin ser un hormigón de alta resistencia gracias a su composición y a la incorporación del inhibidor MCI 2005 patentado.

### 3.2 Ubicación Geográfica

El proyecto estará ubicado en la ciudad de Manta, provincia de Manabí a 6 m.s.n.m., aproximadamente a 800m del perfil costanero y área de construcción de subsuelo 116.76 m<sup>2</sup>, planta baja 116.76 m<sup>2</sup> planta alta 171.51 m<sup>2</sup> y cubierta de 83,01 m<sup>2</sup>. En la Figura 3.1 se muestra una fachada de la vivienda de análisis.

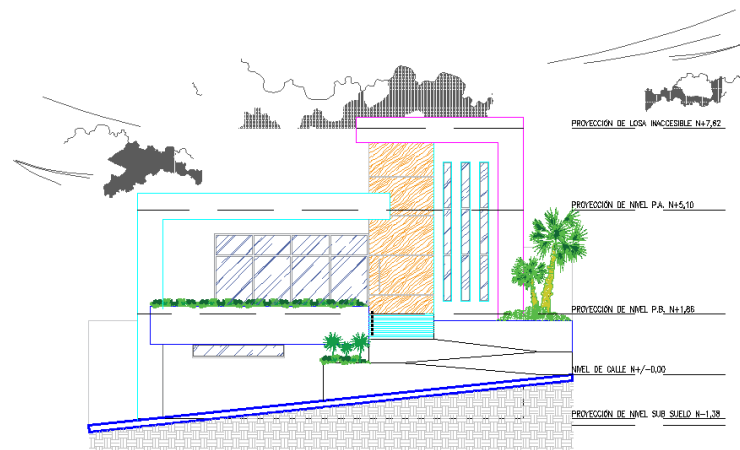


Figura 3.1 .- Vivienda de análisis, [Elaboración propia, 2021]

### 3.3 Clima

En el año 2013 las temperaturas registradas fueron de 24.1 a 26.6°C como se muestra en la Figura 3.2 por medio de isotermas.

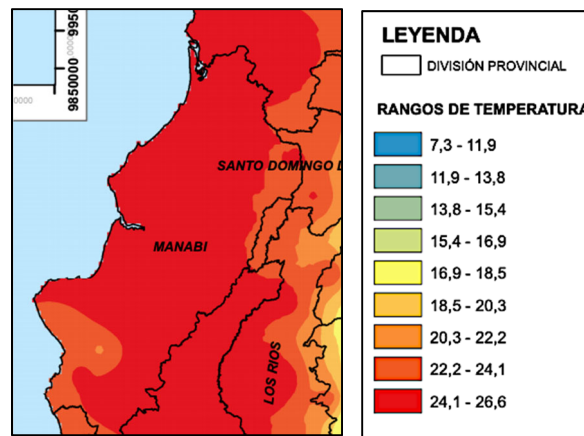


Figura 3.2.- Mapa de isotermas , [INAMHI, 2012]

El cantón Manta tuvo precipitaciones promedio anuales entre 47.7 mm – 94.6 mm como se indica en la Figura 3.3 en el mapa de isoyetas.

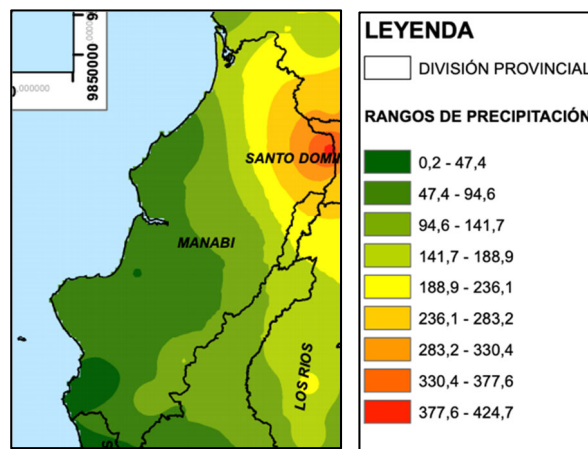


Figura 3.3 .- Mpa de isoyetas, [INAMHI, 2012]

Los datos obtenidos en los anemómetros del INAMHI, fueron registrados de la ciudad de Portoviejo dado que era la estación más cercana la velocidad media del viento se encuentra en alrededor de 2 km/h anualmente y una medida máxima observada de 5 m/s en la dirección SE, como se muestra en la Figura 3.4.

MES	EVAPORACION (mm)			NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO														Vel Mayor Observada (m/s) DIR	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)					
	Suma	Máxima en			N		NE		E		SE		S		SW		W				NW		CALMA	Nro	
	Mensual	24hrs	dia		(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%			(m/s)	%	%	OBS	
ENERO	61.2	5.2	4		1.7	17	0.9	16	0.9	11	1.5	6	0.0	0	0.5	2	0.0	0	1.8	4	45	84	3.0	N	0.7
FEBRERO	92.8	6.0	23		1.6	9	1.0	18	1.0	14	1.7	3	0.0	0	0.5	2	0.0	0	1.7	3	51	93	2.5	NW	1.0
MARZO	97.4	6.8	25		1.5	1	0.9	16	1.0	18	1.2	21	1.5	2	1.6	9	0.0	0	1.8	7	27	90	3.0	SW	1.3
ABRIL	100.9	5.8	9		1.8	4	1.3	23	0.8	14	1.1	18	1.5	2	1.5	17	0.5	1	0.0	0	20	93	3.5	SW	1.6
MAYO	99.8	6.1	19		0.5	1	1.1	8	1.0	10	1.1	19	1.3	11	1.0	24	1.8	2	1.7	3	21	90	3.0	NW	1.8
JUNIO	89.0	4.5	9		1.9	7	1.3	10	0.6	8	1.1	25	1.8	10	1.5	19	0.8	3	1.5	1	18	93	4.0	N	1.9
JULIO	99.1				2.1	12	1.5	12	1.4	8	1.5	26	1.4	11	1.4	12	1.5	3	0.8	3	14	93	5.0	SE	2.2
AGOSTO	119.9	6.0	1		2.5	16	2.1	11	1.2	8	1.5	20	1.3	14	1.7	18	2.0	2	1.4	6	6	90	4.5	N	2.5
SEPTIEMBRE	144.2	7.3	21		2.0	14	2.0	10	1.8	3	1.5	18	1.5	15	1.9	15	0.5	1	1.5	10	14	93	3.5	N	2.5
OCTUBRE	135.6	7.7	7		1.8	6	1.9	9	1.1	4	1.5	24	1.6	13	2.0	21	1.6	4	1.1	7	11	90	3.5	SW	2.3
NOVIEMBRE	125.9	6.1	8		1.8	19	1.4	11	1.0	4	1.6	16	1.2	10	1.6	16	1.4	4	1.6	4	15	93	4.5	SW	2.3
DICIEMBRE	149.0	7.9	2																						
VALOR ANUAL	1314.8																								2.0

Figura 3.4.- Velocidad media y frecuencias de viento, [INAMHI, 2012]

### 3.4 Fundamentación Teórica

#### 3.4.1 Factor de importancia

La importancia que tiene la estructura es el coeficiente I empelada de acuerdo al uso de la edificación expuesta en el capítulo 4.1 de la NEC\_SE\_DS (Peligro Sísmico).

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Figura 3.5.- Factor de importancia, [Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015]

#### 3.4.2 Límites permisibles de las derivas de piso

EL capítulo 4.2.2 de la NEC\_SE\_DS (Peligro Sísmico), dispone que las derivas inelásticas máximas expresadas como un porcentaje de la altura de piso no se deban exceder los valores presentados en la Figura 3.6.



Después del proceso de desencofrado los elementos tienden a agrietarse para el cálculo de rigidez y las derivas máximas permitidas en estructuras de concreto reforzado se utilizan las inercias agrietadas, como sigue:

- $0.8 I_g$  para columnas
- $0.6 I_g$  para muros estructurales

Estructuras de:	$\Delta_M$ máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Figura 3.6.- Derivas inelásticas máximas permitidas, [Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015]

### 3.4.3 Zonificación Sísmica

La aceleración máxima en roca se representa por la letra  $Z$ , para edificaciones tradicionales, cabe destacar que dicho valor es el radio de aceleración de la gravedad.

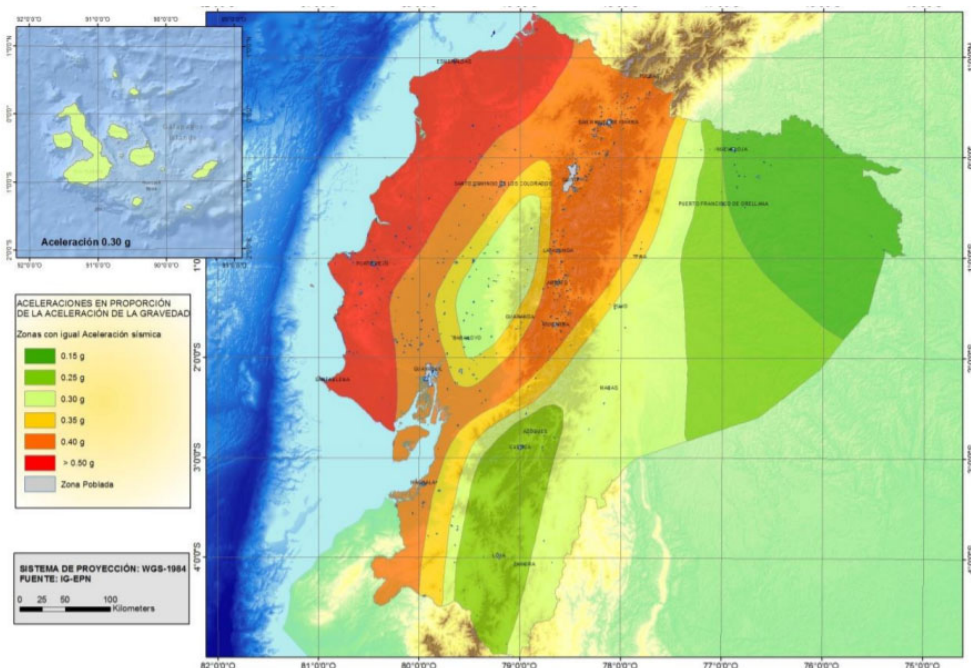


Figura 3.7.- Mapa para diseño sísmico, [NEC-SE-DS, 2015]



Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Figura 3.8.- Valores de Zona Sísmica y Caracterización, [NEC-SE-DS, 2015]

### 3.4.4 Geología del Ecuador

Existen seis tipos de perfiles de suelo (A,B,C,D,E,F), los cuales son categorizados dependiendo de ciertos parámetros tales como, la resistencia al corte del suelo, velocidad de propagación en roca, números de golpe de ensayo SPT, índice de plasticidad, contenido de humedad de suelo.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.6.4</a>					

Figura 3.9.- Tipos de suelo y factor de sitio ( $F_a$ ), [NEC-SE-DS, 2015]

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y <a href="#">10.6.4</a>					

Figura 3.10.- Tipos de suelo y factor de sitio ( $F_d$ ), [NEC-SE-DS, 2015]

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y <a href="#">10.6.4</a>					

Figura 3.11.- Tipos de suelo y factor de sitio ( $F_s$ ), [NEC-SE-DS, 2015]

### 3.4.5 Espectro de diseño Sísmico

Según el capítulo 3.3.1 de la NEC\_SE\_DS (Peligro Sísmico), el espectro de respuesta sísmica de aceleraciones de la Figura comprende a estructuras con un amortiguamiento del 5% y este estará en función del factor de zona sísmica Z, tipo de suelo en donde estará ubicada la estructura y los coeficientes de amplificación del suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$  expresado como fracción de la aceleración de la gravedad.

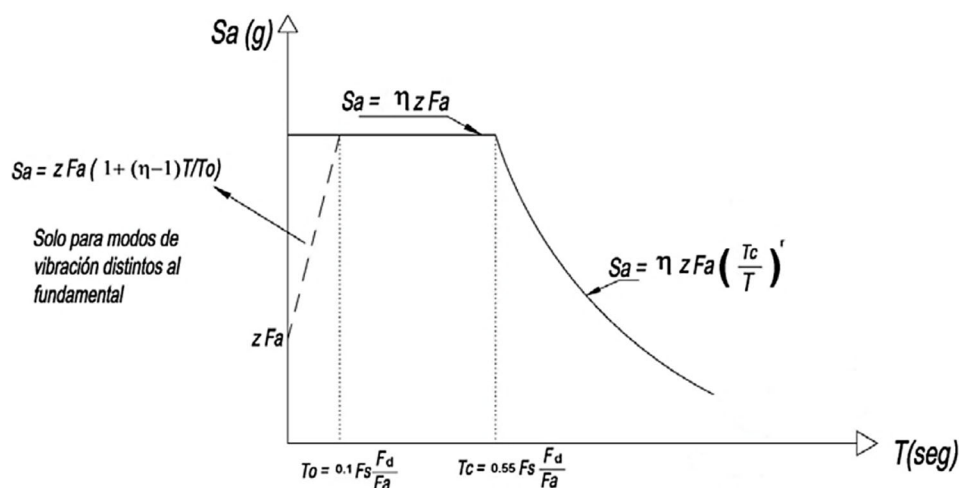


Figura 3.12.- Espectro de respuesta elástico de aceleraciones, [NEC-SE-DS, 2015]

Al ser el objetivo del estudio el grado de corrosión y el periodo de vida útil de la vivienda en la ciudad de Manta, se resume a continuación las consideraciones empleadas para el análisis estructural, las cuales fueron obtenidas en la norma NEC 2015.

Datos empleados para el análisis espectral a partir del tipo de suelo y la ubicación geográfica, el tipo de estructura, sus irregularidades y la importancia.

**Tabla 3.1 .- Parámetros de entrada para el análisis estructural, [Elaboración propia, 2021]**

<b>z</b>	0,5
<b>Tipo perfil</b>	D
<b>Fa</b>	1,2
<b>Fd</b>	1,19
<b>Fs</b>	1,28
<b>n</b>	1,8
<b>I</b>	1
<b>Φe</b>	0,9
<b>Φp</b>	0,9
<b>R</b>	8

Periodo característico de la estructura

$$T = Ct hn^\alpha \quad [Ecuación 3.1]$$

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio

Hn: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T: Período de vibración.

El periodo característico de la estructura se lo obtuvo empleando la Ecuación 3.1:

$$T = 0,055 * 9^{0,9}$$

$$T = 0,397 s$$

Cortante basal de diseño (V)

$$V = \frac{I Sa(Ta)}{R \phi p \phi e} W \quad [Ecuación 3.2]$$

Sa (Ta): Espectro de diseño en aceleración

ØP y ØE: Coeficientes de configuración en planta y elevación

I: Coeficiente de importancia

R: Factor de reducción de resistencia sísmica

V: Cortante basal total de diseño

W: Carga sísmica reactiva

Ta: Período de vibración

Coeficiente de cortante basal, C=0,4

### Peso propio de la losa

**Tabla 3.2.- Peso propio de la losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]**

<b>Ancho de influencia</b>	500	mm
<b>ancho</b>	1000	mm
<b>b (ancho nervio)</b>	100	mm
<b>ancho</b>	1000	mm
<b>relación</b>	0,2	
<b>γ hormigón</b>	2400	kg/m <sup>3</sup>
<b>loseta</b>	120	kg/m <sup>2</sup>
<b>nervios</b>	48	kg/m <sup>2</sup>

### Carga muerta losa

**Tabla 3.3.- Carga muerta de la losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]**

<b>Peso propio</b>	168	kg/m <sup>2</sup>
<b>Paredes</b>	120	kg/m <sup>2</sup>
<b>Instalaciones</b>	40	kg/m <sup>2</sup>
<b>Sobre piso</b>	80	kg/m <sup>2</sup>
<b>WD</b>	408	kg/m <sup>2</sup>

Las cargas empleadas en cada losa se describen a continuación, los pesos propios de los elementos como las vigas y columnas se modelan en el Etabs aplicando esta opción al momento de crear cada elemento.

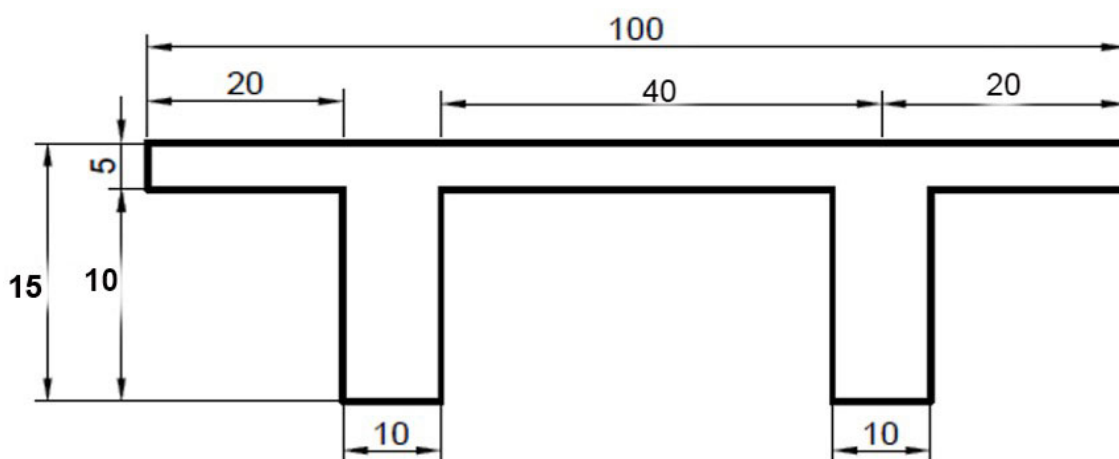
**Tabla 3.4.- Cargas para la losa de planta y cubierta, [Elaboración propia, 2021]**

	<b>Carga Muerta</b>	<b>Carga Viva</b>
<b>Cubierta</b>	40kg/m <sup>2</sup>	70 kg/m <sup>2</sup>
<b>Otras plantas</b>	408 kg/m <sup>2</sup>	200 kg/m <sup>2</sup>

Dimensiones empleadas para la losa se describen a continuación:

**Tabla 3.5.- Sección final de la losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]**

<b>hn(cm)</b>	10	OK
<b>loseta(cm)</b>	5	OK
<b>h total(cm)</b>	15	
<b>sn(cm)</b>	40	
<b>bw (cm)</b>	10	OK



**Figura 3.13.- Sección típica de losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]**

Los momentos y refuerzos que se necesitan en la losa se detallan a continuación, los valores en rojo eran aquellos que están debajo del mínimo por lo tanto se empleó el reforzamiento mínimo para la losa en una dirección.

#### Tabla losa 1planta 1D

El refuerzo utilizado para los nervios es de 10 mm.

**Tabla 3.6.- Cálculo de la primera losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]**

<b>M-(kg.m)</b>	175,06	-	226,41	-	226,41	-	223,55	-	0
<b>M+(kg.m)</b>	-	161,72	-	141,51	-	139,72	-	159,68	-

<b>As-(cm2)</b>	0,412	-	0,532	-	0,532	-	0,526	-	0,3765
<b>As+(cm2)</b>	-	0,380	-	0,333	-	0,329	-	0,375	-
<b>φ-(mm)</b>	1	-	1	-	1	-	1	-	1
<b>φ+(mm)</b>	-	1	-	1	-	1	-	1	-
<b>Vu(kg)</b>	478,68	0	550,48	0	550,48	0	475,64	0	475,64
<b>ΦVc(kg)</b>	785,63		785,63		785,63		785,63		785,63

Tabla losa 2planta 1D

El refuerzo utilizado para los nervios es de 10 mm.

**Tabla 3.7.- Cálculo de la segunda losa en una dirección, [Elaboración propia, 2021]**

<b>M-(kg.m)</b>	175,06	-	226,41	-	226,41	-	223,55	-	223,55	-	155,63	-	0
<b>M+(kg.m)</b>	-	161,72	-	141,51	-	139,72	-	159,68	-	157,65	-	155,63	-
<b>As-(cm2)</b>	0,412	-	0,532	-	0,532	-	0,526	-	0,526	-	0,366	-	0,3765
<b>As+(cm2)</b>	-	0,380	-	0,333	-	0,329	-	0,375	-	0,371	-	0,366	-
<b>φ-(mm)</b>	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
<b>φ+(mm)</b>	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
<b>Vu(kg)</b>	478,68	0	550,48	0	550,48	0	546,99	0	543,49	0	472,60	0	469,57
<b>ΦVc(kg)</b>	785,63		785,63		785,63		785,63		785,63		785,63		785,63

Una malla electro soldada de 20x20 de 8 mm para refuerzo a tracción se utilizara en los dos casos.

Tabla de vigas

**Tabla 3.8 Cálculo del refuerzo de vigas, [Elaboración propia, 2021]**

<b>Vigas</b>	<b>Altura(cm)</b>	<b>Base(cm)</b>	<b>Refuerzo +</b>	<b>Refuerzo -</b>	<b>rec(cm)</b>
<b>A,D</b>	35	25	2 Φ 12 mm	2 Φ 12 mm	4
<b>B,C</b>	35	30	2 Φ 12 mm	2 Φ 12 mm	4
<b>1,1'</b>	35	25	2 Φ 16 mm	3 Φ 16 mm	4
<b>2</b>	35	30	2 Φ 16 mm	3 Φ 16 mm	4
<b>2'</b>	35	30	2 Φ 16 mm	2 Φ 16 mm	4

<b>3</b>	35	25	2 $\Phi$ 16 mm	3 $\Phi$ 16 mm	4
<b>3'</b>	35	25	2 $\Phi$ 16 mm	2 $\Phi$ 16 mm	4
<b>4</b>	30	25	2 $\Phi$ 16 mm	3 $\Phi$ 16 mm	4

Tabla de columnas

**Tabla 3.9.- Cálculo del refuerzo en las columnas, [Elaboración propia, 2021]**

<b>Columnas</b>	<b>Base(cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Refuerzo</b>	<b># Ramales</b>	<b><math>\Phi_e</math></b>	<b>Rec(cm)</b>
<b>Esquinera</b>	35	35	8 $\Phi$ 25mm	3	12mm	4
<b>Crítica</b>	40	40	8 $\Phi$ 25mm	2	12mm	4
<b>Borde</b>	30	30	8 $\Phi$ 22mm	3	12mm	4

# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el análisis de resultados se considero el diseño propuesto en el Capitulo 3, aplicando la dosificación propuesta en el Capitulo 1, mostrando **dos casos de estudio**, un caso con el uso de inhibidor y el otro sin el uso de este producto. Se realizaron dos metodologías de análisis, una enfocada en el software Service Life 365 y otra enfocada en la codificación presentada en los Anexos, con la finalidad de realizar comparaciones entre ambos casos.

Para este análisis se consideraron los siguientes datos correspondientes a la ubicación de la vivienda de análisis, la dosificación del hormigón a utilizar y su diseño estructural.

### 4.1 Temperaturas de la ubicación de análisis

La vivienda se encuentra localizada en Manta, sin embargo al revisar los registros del INAMHI se escogió un registro de datos de temperatura media mensual correspondiente a una ciudad cercana y de características similares, Portoviejo.

Tabla 4.1.- Temperaturas medias mensuales de la provincia de Portoviejo, [INAMHI, 2012]

Mes	Temperatura °C
Enero	25
Febrero	26
Marzo	27
Abril	28
Mayo	28
Junio	27
Julio	26
Agosto	25
Septiembre	24
Octubre	24
Noviembre	25
Diciembre	26



#### 4.2 Máxima concentración superficial Cs

El tiempo de máxima concentración fue tomado en base a los estudios realizados por el programa Service Life 365 en la ciudad de Florida ya que consta con características similares al perfil costanero de Ecuador a una distancia de 800 m con cercanía al mar.

<b>Máx. concentración a la superficie</b>	0,6 % wt
<b>Tiempo máximo</b>	15 años

#### 4.3 Mezcla de hormigón propuesta

La mezcla propuesta de hormigón constaba con 10% HS, 20% E, 5% CV y considerando el Inhibidor de corrosión. En la Tabla 4.2 se observa la dosificación para un metro cúbico de hormigón con una relación agua/ cemento de 0.49 considerando las correcciones por humedad y absorción de los agregados.

**Tabla 4.2.- Dosificación propuesta de 25 MPa, [Elaboración propia, 2021]**

Volumen Total:	1	m3
<b>Material</b>	<b>Cantidad [kg]</b>	<b>Cantidad con desperdicio (35%) [kg]</b>
<b>Agua efectiva</b>	260.51	351.68
<b>Aire</b>	0	0
<b>Cemento</b>	285.95	386.03
<b>árido grueso</b>	857.22	1157.25
<b>árido fino</b>	709.46	957.77
<b>Sílice</b>	44	59.4
<b>Puzolana</b>	87.98	118.77
<b>Escoria</b>	22	29.7

#### 4.4 Secciones de análisis

Para el análisis se emplearan dos secciones de vigas, y dos secciones de columna. Las cuales se muestran a continuación:

Tabla 4.3.- Secciones de vigas escogidas para análisis, [Elaboración propia, 2021]

Vigas	Altura(cm)	Base(cm)	Refuerzo +	Refuerzo -	rec(cm)
D	35	25	2 $\Phi$ 12 mm	2 $\Phi$ 12 mm	4
1'	35	25	2 $\Phi$ 18 mm	3 $\Phi$ 18 mm	4

Tabla 4.4.- Secciones de columnas escogidas para el análisis, [Elaboración propia, 2021]

Columnas	Base(cm)	Altura (cm)	Refuerzo	# Ramales	$\Phi_e$	Rec(cm)
C2	35	35	8 $\Phi$ 25mm	3	12mm	4
C3	40	40	8 $\Phi$ 25mm	2	12mm	4

#### 4.5 Análisis utilizando el software Service Life 365

##### 4.5.1 Definición de secciones en el programa

Debido a las restricciones del programa Service Life 365, las secciones que pueden analizarse utilizando este software son aquellas de la Tabla 4.4.

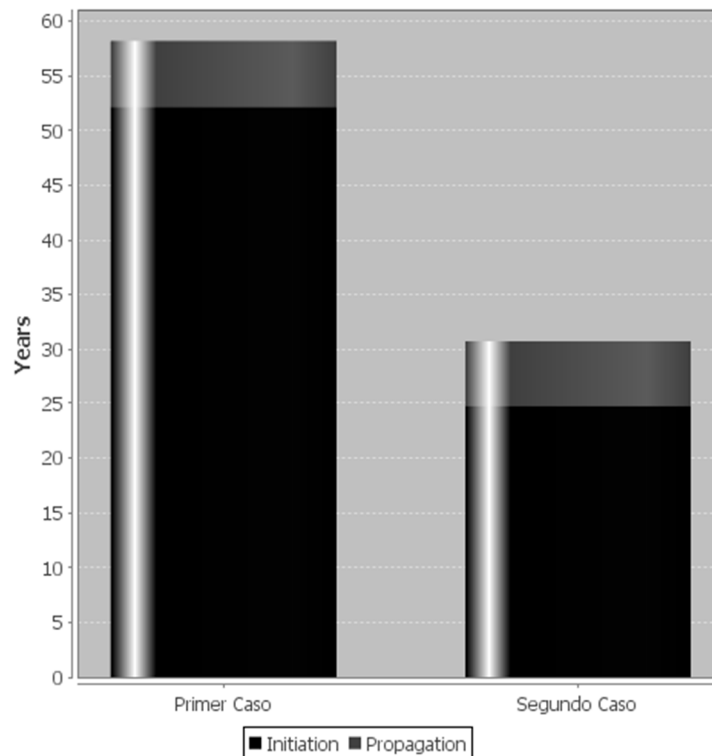
Figura 4.1.- Definición de parámetros de entrada para la columna C2 en el programa Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]

Project	Exposure	Concrete Mixtures	Individual Costs	Life-Cycle Cost	Service Life Report	LCC Report	
<b>Identify Project</b>							
Title	Análisis Columna C3				Analyst	Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaquay	
Description	Se analiza el ciclo de vida de la columna C3 utilizando la dosificación propuesta				Date	18/08/2021	
<b>Select Structure Type and Dimensions</b>							
Type of structure	square column/beams (2-D)						
Width (mm)	400.0						
Reinf. depth (mm)	52.0						
Total length (m)	1						
--> Volume of concrete	0.2 cub. met.						
Chloride concentration units	% wt. conc.						
<b>Define Economic Parameters</b>							
Base year	2021	Analysis period (yrs)	75	Inflation rate (%)	1.80%	Real discount rate (%)	2.00%
<b>Define Alternatives (up to 6)</b>							
<input type="button" value="Add a new alt"/> <input type="button" value="Delete currently selected alt"/>							
Name (double-click to edit)		Description (double-click to edit)					
Primer Caso		Todos con inhibidor					
Segundo Caso		Todos sin inhibidor					

**Figura 4.2.- Definición de parámetros de entrada para la columna C3 en el programa Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

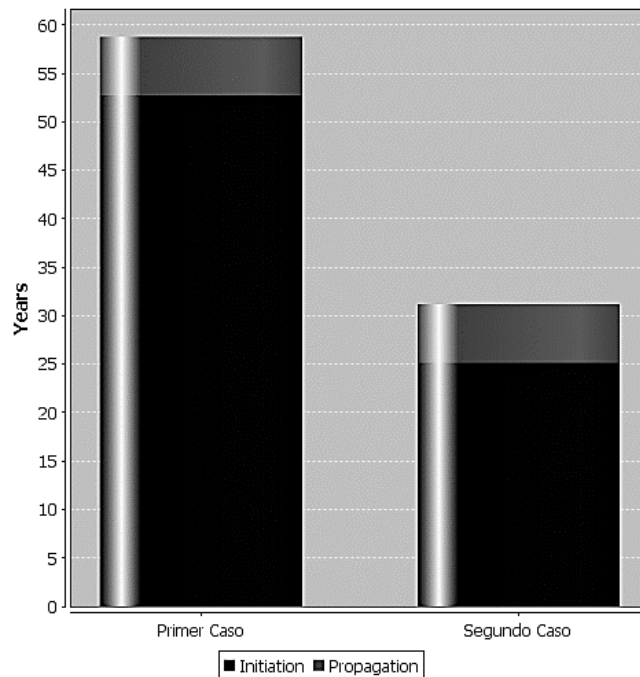
#### 4.5.2 Cálculo de la vida útil de las secciones escogidas

El periodo de vida útil se calcula en base a la suma del periodo de iniciación y el periodo de propogación de la corrosión. El periodo de iniciación se lo obtiene mediante el programa, mientras que el periodo de propogación se lo considera el mismo (6 años) para ambos casos en ambas columnas.



**Figura 4.3.- Gráfica del periodo de ciclo de vida de la columna C2 obtenida del Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

La Figura 4.3 representa el periodo de ciclo de vida de la columna C2, cabe observar que para el primer caso (Mezcla con inhibidor) posee un mayor periodo de vida útil, exactamente 58.2 años, en comparación con el segundo caso (Mezcla sin inhibidor), el cual posee un periodo de vida útil de 30.8 años.



**Figura 4.4 Gráfica del periodo de ciclo de vida de la columna C3 obtenida del Service Life 365, [Elaboración propia, 2021]**

La Figura 4.4 representa el periodo de ciclo de vida de la columna C3, cabe observar que para el primer caso (Mezcla con inhibidor) posee un mayor periodo de vida útil, exactamente 58.8 años, en comparación con el segundo caso (Mezcla sin inhibidor), el cual posee un periodo de vida útil de 31.2 años.

## 4.6 Análisis utilizando el código

### 4.6.1 Definición de las secciones en el código

Se definieron las secciones de la Tabla 4.3 y Tabla 4.4 en el código propuesto. El código propuesto requiere como parámetros de entrada: las dimensiones y recubrimiento de la sección de análisis, las proporciones para la dosificación de un metro cubico del hormigón del caso de estudio, el registro de temperaturas medias mensuales del sitio de estudio, la máxima concentración en la superficie de la estructura de hormigón armado, el tiempo que requieren los iones cloruros

para alcanzar la máxima concentración superficial y la dosificación del inhibidor de corrosión, para los casos de estudio que emplean dicho producto.

#### **4.6.2 Cálculo de la vida útil de las secciones escogidas**

##### **4.6.2.1 Cálculo del periodo de iniciación**

El periodo de iniciación se lo obtiene mediante la codificación adjuntada en el apartado de Anexos, los resultados para cada caso de estudio se lo muestran en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5.- Resultados del periodo de iniciación calculados mediante el código,**  
[Elaboración propia, 2021]

<b>Sección</b>	<b>Periodo de iniciación(años) usando el inhibidor</b>
Viga D	52,1
Viga 1'	53,2
Columna C2	50,2
Columna C1	50,1

##### **4.6.2.2 Cálculo del periodo de propagación**

El periodo de propagación se lo obtuvo mediante la codificación adjuntada en el apartado de Anexos. La codificación del periodo de propagación posee una limitación, y es su implementación solo para secciones de viga. Para el uso del código se requieren parámetros iniciales como: resistencia del concreto, el diámetro de la varilla de refuerzo, dimensiones de la sección de la viga, intensidad de corrosión, la resistencia a fluencia del acero de refuerzo y recubrimiento de la sección. Los resultados de la codificación se muestran en la Tabla 4.6

**Tabla 4.6.- Resultados del periodo de propagación calculados mediante el código,**  
[Elaboración propia, 2021]

<b>Sección</b>	<b>Periodo de propagación(años)</b>
Viga D	0.25
Viga 1'	3.9
Columna C2	4
Columna C1	4

Observando la Tabla 4.6, se puede concluir que el periodo de propagación para ambas secciones de viga son 0.25 y 3.9 años respectivamente. Para las secciones de columnas se asume los 6 años de periodo de propagación utilizandas en la metodología del Service Life 365.

#### 4.6.2.3 Cálculo del periodo de vida útil

Los periodos de vida útil de las secciones escogidas se resumen en la Tabla 4.7

**Tabla 4.7.- Periodo de vida útil de las secciones escogidas utilizando el código,**  
[Elaboración propia, 2021]

Sección	Vida útil(años)
Viga D	52.39
Viga 1'	57.1
Columna C2	54,2
Columna C1	54,1

#### 4.7 Comparativa entre resultados del software Service Life 365 y la codificación propuesta.

Se realizó la comparación de las secciones correspondientes a las columnas C2 y C3, debido a la limitación del Service Life 365, dichos resultados se presentan en la Tabla 4.8. En conclusión, ambas metodologías arrojan valores relativamente cercanos por lo que, la codificación adjunta posee el potencial para desarrollarse a futuro e implementar valores como la humedad relativa, la velocidad del viento, la porosidad del hormigón, entre otros, a fin de obtener resultados con mayor precisión.

**Tabla 4.8.- Resultados del periodo de vida útil de ambas metodologías,** [Elaboración propia, 2021]

Sección	Vida útil service Life [años]	Vida útil código propuesto [años]
Viga D	-	52.39
Viga 1'	-	57.1
Columna C2	58.2	54.2
Columna C1	58.8	54.1

# CAPÍTULO 5

## 5. ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis de costo se consideraron los salarios mínimos para la mano de obra determinados en Enero del 2021 por la Contraloría general del Estado (Contraloría general del Estado, 2021).

### 5.1 Análisis de costos de casos de estudio

Para cada caso de estudio se desarrollaron sus respectivos análisis de precios unitarios (APUs) utilizando materiales de construcción provenientes de la zona analizada. A continuación se detalla un resumen de los diferentes casos analizados en el Capítulo 2 y se definió que elementos se analizaría para cada caso pudiendo ser columna, losa, vigas y muros.

**Tabla 5.1 Resumen de los casos de estudio, [Elaboración propia, 2021]**

<b>Casos de estudio</b>	<b>f'c(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Lugar de estudio</b>	<b>Precio (\$/m<sup>3</sup>)</b>
Edificio Txopituna	300	Manta	\$ 198.08
Condominio Torre 5	240	Daule	\$ 164.36
Residencia Barcía Torres	210	Manta	\$ 158.38
Familia Zambrano Arroyave	210	Manta	\$ 158.38

Los precios de los diferentes rubros correspondientes a los hormigones de cada caso de estudio se detallan en el apartado de Anexos.

### 5.2 Análisis de costos de alternativas de solución

Para los presentes valores mostrados en el documento se cotejaron valores registrados en la Cámara de la Construcción de Guayaquil, se adjuntaron las respectivas facturas y proformas a la fecha de la entrega del trabajo de titulación (Repetto, 2021, Insucons, 2021).

Las alternativas empleadas en el documento fueron ocho, las cuales contemplaban diferentes porcentajes de materiales cementantes los cuales fueron descritos en el Capítulo 1.

El presupuesto definido para el cálculo de los materiales fue para una dosificación de 250 kg/cm<sup>2</sup>, la cual fue determinada con anterioridad. Esta mezcla se encuentra realizada con el 20% de escoria, 10 % humo de sílice, 5 % de puzolana valores obtenidos del 100% del contenido de cemento requerido, además del valor del inhibidor a una concentración del 5 L/m<sup>3</sup> y el plastificante al 1%. En la Tabla 5.2 se detalla la alternativa “X” correspondiente a la Alternativa 1 y la Alternativa “Y” correspondiente a la Alternativa 8, ambas expresadas en el Capítulo 1.

**Tabla 5.2 Declaración de alternativas, [Elaboración propia, 2021]**

<b>Alternativa</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Precio (\$/m<sup>3</sup>)</b>
Alt X (20%E,10%HS;5P, I)	250	\$381,33
Alt Y (20%E,10%HS;5P)	250	\$269,33

En la tabla anterior se evidencia el precio con y sin inhibidor de la dosificación propuesta estos están obtenidos a partir del costo por materiales empleados.

**Tabla 5.3 Costo total de un m3 de hormigón correspondiente a la Alternativa X [Elaboración propia, 2021]**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Alternativa X</b>		<b>Costo total (\$)</b>
		<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo (\$/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Agua</b>	m <sup>3</sup>	0,26	0,85	0,22
<b>Ripio 3/8"</b>	m <sup>3</sup>	0,66	10,04	6,62
<b>Arena Mega mezcla</b>	m <sup>3</sup>	0,48	12,50	6,03
<b>Cemento</b>	saco	5,71	7,68	43,85
<b>Inhibidor MCI 2005</b>	m <sup>3</sup>	0,01	22400,00	112,00
<b>Sika Fume</b>	m <sup>3</sup>	0,07	2145,00	145,22
<b>Escoria de horno</b>	m <sup>3</sup>	0,03	23,25	0,65
<b>Puzolana (Cen. volante)</b>	m <sup>3</sup>	0,02	2136,00	52,76
<b>Sika Plast 1010</b>	m <sup>3</sup>	0,00	3780,60	13,99
				<b>\$ 381,33</b>



**Tabla 5.4 Costo total de un m<sup>3</sup> de hormigón correspondiente a la Alternativa Y**  
**[Elaboración propia, 2021]**

Descripción	Unidad	Alternativa Y		Costo total (\$)
		Cantidad	Precio productivo (\$/m <sup>3</sup> )	
<b>Agua</b>	m <sup>3</sup>	0,26	0,85	0,22
<b>Ripio 3/8"</b>	m <sup>3</sup>	0,66	10,04	6,62
<b>Arena Mega mezcla</b>	m <sup>3</sup>	0,48	12,50	6,03
<b>Cemento</b>	saco	5,71	7,68	43,85
<b>Inhibidor MCI 2005</b>	m <sup>3</sup>	0,00	22400,00	0,00
<b>Sika Fume</b>	m <sup>3</sup>	0,07	2145,00	145,22
<b>Escoria de horno</b>	m <sup>3</sup>	0,03	23,25	0,65
<b>Puzolana (Cen. volante)</b>	m <sup>3</sup>	0,02	2136,00	52,76
<b>Sika Plast 1010</b>	m <sup>3</sup>	0,00	3780,60	13,99
				\$ 269,33

Para los costos de reparación usados se realizó un análisis por m<sup>2</sup>, este tipo de reparaciones puede causar problemas al dueño de la obra debido a que implicaría un tiempo de reparación, además la maquinaria empleada inviabilizaría el uso del espacio causando malestar. Este análisis de reparación se hizo utilizando una aproximación de daños en una columna, sin embargo fue empleado como un valor constante para los casos en los que se debía aplicar reparaciones, para tener un valor real de esta reparación se debe hacer un análisis en el tiempo en el cual está ocurriendo dicho proceso corrosivo a fin de tener el grado de certeza del valor, material a emplear, maquinaria; puesto que, no es lo mismo realizar la reparación de una losa que de una viga o columna de un primer piso. Se tomó como punto de partida que no existía daño en el acero longitudinal es decir no existía un daño mayor al 20 % de la varilla longitudinal como es mencionado por algunos autores los cuales sugieren que se debe emplear otro tipo de análisis donde incluiría cambio en el acero. Por un tema netamente explicativo no se tomó en cuenta el uso de un inhibidor en la reparación debido a que no se sabe con certeza el grado de protección ni el tiempo de duración de su eficacia. El valor de reparación esta alrededor de \$ 250,28 por m<sup>2</sup>.

Tomando en cuenta los valores encontrados en la página web Insucons y los de la Cámara de la Construcción se obtiene un valor referencial para un hormigón de uso general de 25 MPa fluctuando alrededor de \$90,34 contando solo el uso de los materiales

empleados en su elaboración ,no obstante la dosificación propuesta tiene un costo mayor inicial , sin embargo representa ganancias a futuro debido a que no se requerirá hacer reparaciones durante un largo periodo posterior a su construcción en comparación con un hormigón de uso general o sin inhibidor, esto a fin de conservar su integridad estructural dado que estas van a ser sometidas a un ambiente salino.

La alternativa X tiene un precio por metro cúbico de \$381,33 solo tomando en cuenta los materiales empleados, los cuales proveen una mayor resistencia al ataque por cloruros, cumpliendo así con mayores estándares de calidad (despasivación de la armadura, descascaramiento del recubrimiento). A continuación se detalla las gráficas y valores obtenidos con el programa Service Life 365.

### 5.3 Análisis de costos de los casos de estudio

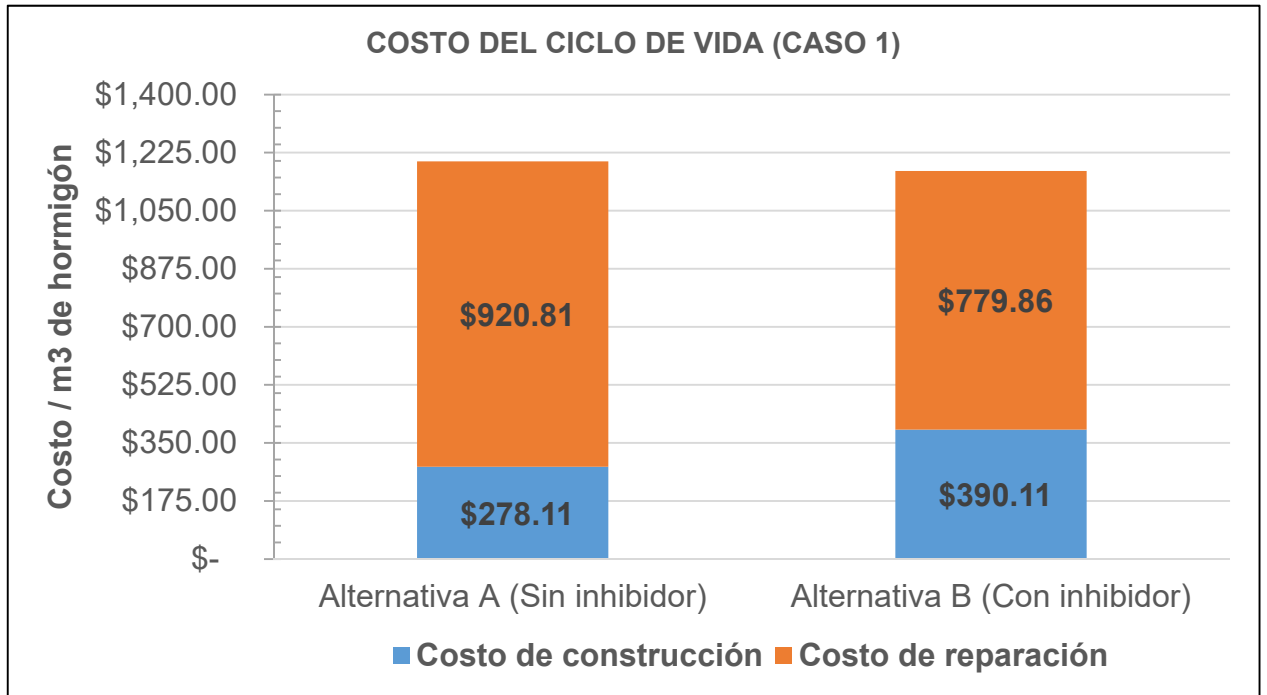
Para cada caso de estudio se consideró un periodo de análisis de 75 años, este se hizo tomando en cuenta que las estructuras son de gran envergadura (edificios, condominios, casas lujosas) y poseen una inversión alta, realizando el estudio de esta forma se garantiza la inversión en estas obras. Además, para este análisis se consideraron los precios por metro cúbicos de hormigón determinados en la Tabla 5.1.

A continuación se detalla de forma resumida los casos con sus valores empleando inhibidor y obviando el uso del mismo .El análisis de porcentaje se hizo tomando en cuenta la alternativa A como base en todos los casos.

#### 5.3.1 Edificio Txopituna (Manta)

Tabla 5.5 .- Análisis de costos del caso de estudio 1, [Elaboración propia, 2021]

	<b>Alternativa A(Sin inhibidor)</b>	<b>Alternativa B(Con inhibidor)</b>
<b>Costo de construcción</b>	\$ 278.11	\$ 390.11
<b>Costo de reparación</b>	\$ 920.81	\$ 779.86
<b>Costo de ciclo de vida</b>	\$ 1 198.92	\$ 1 169.97
<b>Porcentaje de ahorro</b>	----	2.47%

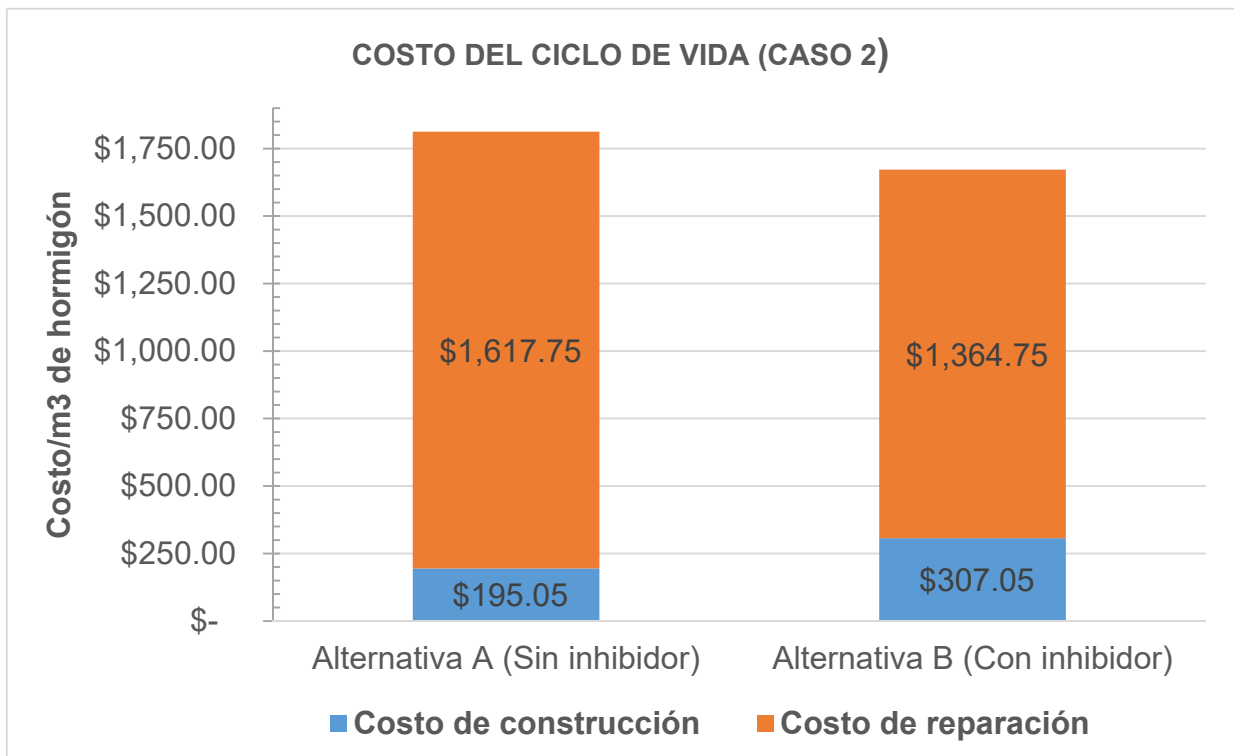


**Gráfica 5.1.-Costo del ciclo de vida de un elemento estructural del Edificio Txopituna, [Elaboración propia, 2021]**

### 5.3.2 Condominio Torre 5 (Daule)

**Tabla 5.6.- Análisis de costos del caso de estudio 2, [Elaboración propia, 2021]**

	<b>Alternativa A (Sin inhibidor)</b>	<b>Alternativa B (Con inhibidor)</b>
<b>Costo de construcción</b>	\$ 195.05	\$ 307.05
<b>Costo de reparación</b>	\$ 1 617.75	\$ 1 364.75
<b>Costo de ciclo de vida</b>	\$ 1 812.80	\$ 1 671.80
<b>Porcentaje de ahorro</b>	----	8.43%

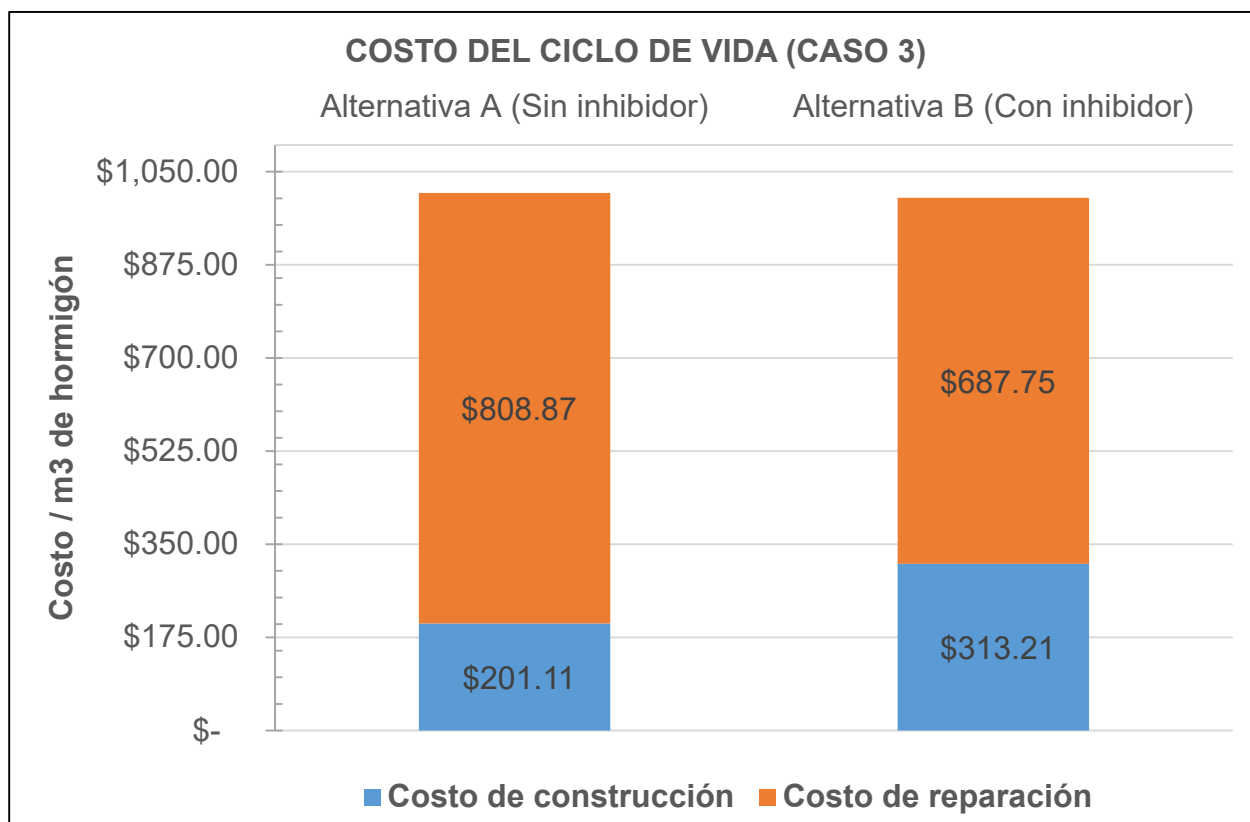


**Gráfica 5.2.- Costo del ciclo de vida de un elemento estructural del Condominio Torre 5, [Elaboración propia, 2021]**

### 5.3.3 Residencia Barcia Torres (Manta)

**Tabla 5.7 .- Análisis de costos del caso de estudio 3, [Elaboración propia, 2021]**

	<b>Alternativa A (Sin inhibidor)</b>	<b>Alternativa B (Con inhibidor)</b>
<b>Costo de construcción</b>	\$ 201.11	\$ 313.21
<b>Costo de reparación</b>	\$ 808.87	\$ 687.75
<b>Costo de ciclo de vida</b>	\$ 1 009.98	\$ 1 000.96
<b>Porcentaje de ahorro</b>	---	0.90%

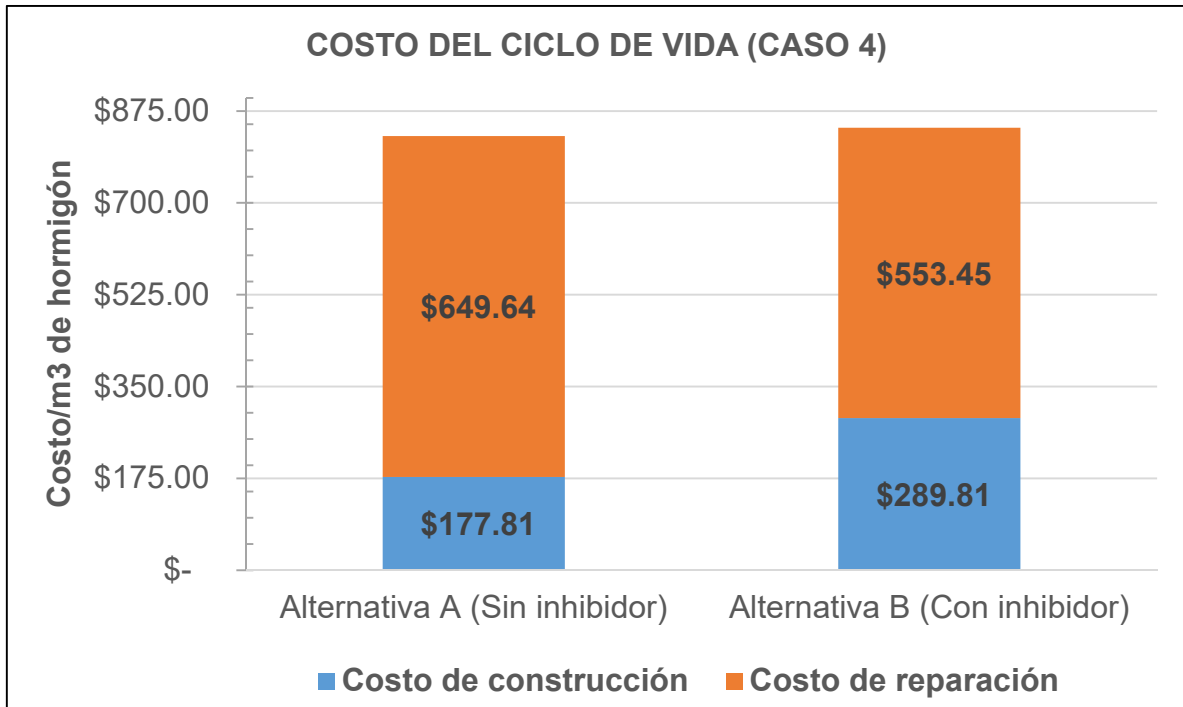


**Gráfica 5.3.- Costo del ciclo de vida de un elemento estructural de la residencia Barcía Torres (Manta), [Elaboración propia, 2021]**

#### 5.3.4 Residencia Familia Zambrano Arroyave (Manta)

**Tabla 5.8.- Análisis de costos del caso de estudio 4, [Elaboración propia, 2021]**

	<b>Alternativa A (Sin inhibidor)</b>	<b>Alternativa B (Con inhibidor)</b>
<b>Costo de construcción</b>	\$ 177.81	\$ 289.81
<b>Costo de reparación</b>	\$ 649.64	\$ 553.45
<b>Costo de ciclo de vida</b>	\$ 827.45	\$ 843.26
<b>Porcentaje de ahorro</b>	---	-1.87%



**Gráfica 5.4.- Costo del ciclo de vida de un elemento estructural de la residencia Zambrano Arroyave (Manta), [Elaboración propia, 2021]**

Para el análisis de costos se emplearon valores obtenidos a partir de APUs, los cuales permitieron obtener cantidades realistas de inversión en cada proyecto.

En las anteriores gráficas, la alternativa con inhibidor aumenta el ciclo de vida de la estructura y representa un ahorro en costos. También se puede evidenciar que los costos de construcción inicial son relativamente parecidos, sin embargo la incorporación de inhibidor a la mezcla reflejó un mejor desempeño de protección a los cloruros.

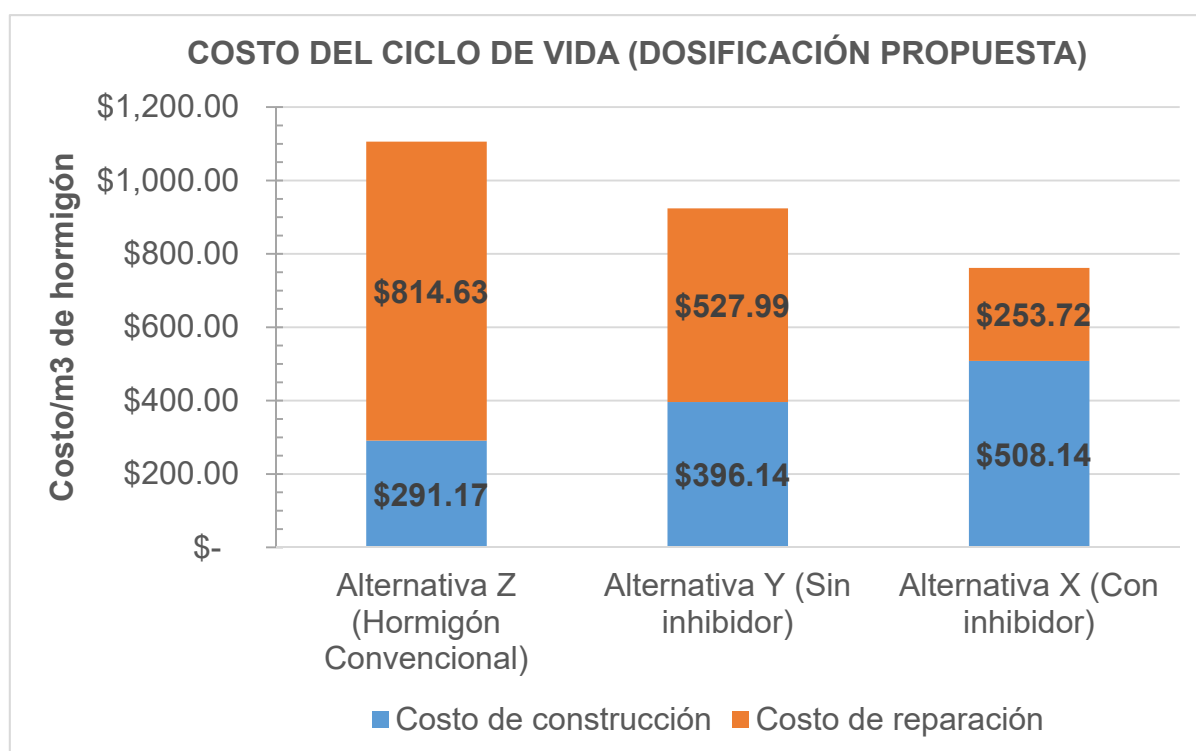
Cabe observar que para el tercer y cuarto caso de estudio no se obtuvo un ahorro apreciable, llegando a ser el 0.90% para el Caso 3 y una pérdida del 1.87%, esto se produce debido a que el inhibidor de corrosión generalmente es efectivo para estructuras con relación agua cemento menores a 0.50. Para elementos con relaciones agua/ cemento mayores no resulta ser efectivo económicamente.

#### 5.4 Análisis de costos de la dosificación propuesta

Para este análisis se consideró un periodo de 100 años para apreciar de mejor forma el ahorro al finalizar el ciclo de vida, además el periodo tomado en cuenta es utilizado para una edificación de alta importancia como un hospital, recinto militar o una fábrica que posea materiales peligrosos; siendo estos expuestos a un ambiente corrosivo. Para este análisis se consideran los precios por metro cubico de hormigón utilizando la dosificación propuesta en el Capítulo 1 y que se detallan en la Tabla 5.3 y la Tabla 5.4.

**Tabla 5.9.- Análisis de costos de elemento estructural con la dosificación propuesta, [Elaboración propia, 2021]**

	<b>Alternativa Z (Hormigón Convencional)</b>	<b>Alternativa Y(Sin inhibidor)</b>	<b>Alternativa X (Con inhibidor)</b>
<b>Costo de construcción</b>	\$ 291.17	\$ 396.14	\$ 508.14
<b>Costo de reparación</b>	\$ 814.63	\$ 527.99	\$ 253.72
<b>Costo de ciclo de vida</b>	\$ 1 105.80	\$ 924.13	\$ 761.86
<b>Porcentaje de ahorro</b>	---	19.66%	45.14%



**Gráfica 5.5.- Costo del ciclo de vida de un elemento estructural utilizando la dosificación propuesta, [Elaboración propia, 2021]**

En la Gráfica 5.5, la Alternativa X compuesta con los materiales cementantes propuestos y el inhibidor es la que tiene mejor desempeño. La alternativa Z, la cual representa a un hormigón convencional presenta mayores gastos a futuro. Se constata un ahorro del 45.14% de la alternativa propuesta (Alternativa X) frente a un hormigón tradicional (Alternativa Z), lo cual en obras de gran envergadura representarían costos significativos. La Alternativa Y compuesta con los materiales cementantes sin inhibidor representa un ahorro del 19.66% en comparación con la Alternativa Z (Hormigón tradicional).

En la Gráfica 5.5 se puede notar el uso del inhibidor y como este tiene un impacto positivo no solo en el ciclo de vida, sino en el costo.



# CAPÍTULO 6

## 6. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

### 6.1 Objetivo General

Hacer una evaluación ambiental de los diferentes inhibidores de corrosión analizados para identificar el producto ambientalmente preferible.

### 6.2 Objetivos Específicos

- Describir cada alternativa desde el punto de vista ambiental.
- Identificar y valorar los impactos de los productos en base a la información disponible.
- Realizar una comparación de acuerdo con la valoración de los impactos para identificar el producto ambientalmente preferible.
- Realizar un resumen de las medidas de minimización de impactos para la aplicación de estos inhibidores.

### 6.3 Descripción del producto.

Las alternativas usadas en este proyecto son las siguientes:

- Inhibidor orgánico en base a aminas y éteres
- Inhibidor semisintético en base a nitrito de calcio.

#### **Inhibidor orgánico en base a aminas y éteres**

Los inhibidores orgánicos como el citado en la presente tesis tienen su origen en las sustancias orgánicas derivadas de fuentes naturales y / o biológicas: extractos y aceites vegetales (girasol, semilla de algodón, maíz y aceite de palma), aminoácidos, microorganismos y biopolímeros (Abbasov et al., 2014).

Debido a que la composición química de un inhibidor verde (orgánico) depende en gran medida de su proceso de extracción, se debe tomar en cuenta los modelos de adsorción específicos y los mecanismos implicados para asegurar la reproducibilidad de los resultados. Los inhibidores orgánicos dependen de su aplicación. Existe una tendencia en los últimos 10 años hacia la investigación acerca de inhibidores de corrosión verdes o sustancias ecológicas que tienen biocompatibilidad en la naturaleza. Por ejemplo, se

reconoce que la sostenibilidad es una preocupación creciente, particularmente dado los efectos que se suscitan actualmente en el medio ambiente en consecuencia del cambio climático (De Silva & Henderson, 2011) .

En consecuencia del impacto de los inhibidores en el medio ambiente la elección de estos tiene que efectuarse con los estándares y regulaciones aplicables sobre toxicidad y protección ambiental (Sharma & Sharma, 2011). El inhibidor orgánico utilizado en este análisis posee características biodegradables y carece de metales pesados u otros compuestos tóxicos (Rani & Basu, 2012).

Sin embargo se debe considerar que el costo y el tiempo necesarios para extraer y purificar sustancias naturales (como de algunas plantas) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** , fármacos o líquidos iónicos (El Ibrahimy et al., 2020), los inhibidores verdes no resultan siempre económicos ni amigables con el medio ambiente (Verma et al., 2018).

Para la extracción de estos compuestos varios autores afirman que puede ser necesario el uso de disolventes orgánicos los cuales afectan el medio ambiente. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la abundancia, la renovación y la biodisposición son la clave para aplicar en situaciones reales los inhibidores verdes (Montemor, 2016).

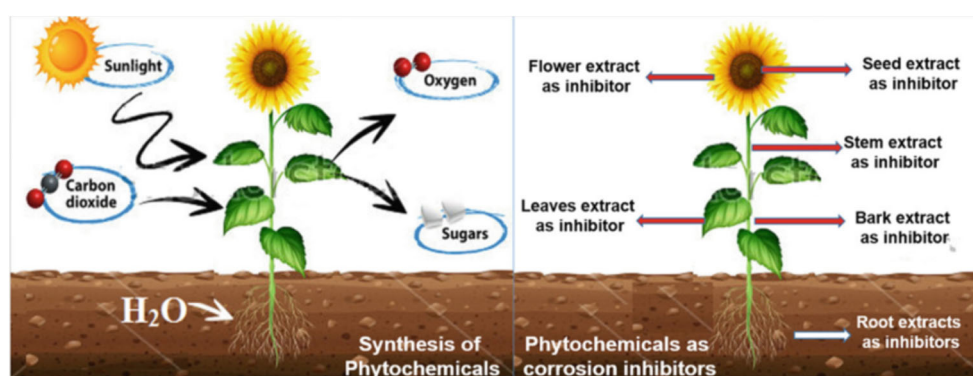


Figura 6.1.- Extractos de plantas como inhibidores de corrosión, [Verma et al., 2018]

La forma en el que el inhibidor actúa sobre la superficie metálica (acero de refuerzo en el caso de elemento de hormigón armado) se produce a través de la absorción física o química que elimina el agua o las especies corrosivas de la superficie al proveerle una capa que interviene como barrera (Argyropoulos et al., 2021).

## **Norma NSF / ANSI / CAN 61-2020**

Esta norma dicta requisitos mínimos de efectos sobre la salud para los contaminantes químicos e impurezas que se transmiten indirectamente al agua potable a partir de productos, componentes y materiales utilizados en los sistemas de agua potable, como por ejemplo tuberías y accesorios. Los productos, componentes o materiales del sistema de agua potable no son establecidos en esta norma tales como requisitos de rendimiento, sabor y olor o de apoyo al crecimiento microbiano (NSF/ANSI/CAN 61, 2020), (Berke & Rosenberg, 1989)

### **Inhibidor semisintético en base a nitrito de calcio**

El inhibidor de corrosión Sika CNI es una sustancia compuesta a base de nitrito de calcio con una concentración de esta sustancia de al menos el 30% (Sika, 2020).

El principal compuesto del inhibidor de corrosión, el nitrito de calcio, se elabora mediante la reacción de cal hidratada y gas  $NO_x$ , este gas proviene de una planta de ácido nítrico, la cual quema un compuesto denominado amoníaco, produciendo dicho gas (Woodruff, 2009).

La función del inhibidor semisintético en base a nitrito de calcio es fortalecer la capa pasiva de óxido en la superficie del acero de refuerzo, dicha capa es generada por la alta alcalinidad del hormigón, y protege al acero de refuerzo de la propagación de corrosión generada por los iones de cloruros difundidos en la red de poros del hormigón (Sika, 2020).

Investigaciones sugieren que los inhibidores a base de nitrato de calcio mejoran en gran medida la capacidad de soporte para la corrosión del acero de refuerzo en hormigones con relación agua/cemento menores a 0.50 (Berke et al., 1998). Sin embargo, pese a su beneficio en las estructuras de hormigón armado, este producto genera un gran impacto ambiental en sus distintas fases de vida útil.

## **6.4 Impacto ambiental del inhibidor de corrosión MCI 2005 Patentado**

Las consideraciones usadas para realizar un resumen de impactos se hicieron en base a las sustancias peligrosas encontradas en la hoja de datos de seguridad del material, (MSDS por sus siglas en inglés), las cuales son: sal de ácido aromático e hidroxido de sodio

### **6.4.1 Impacto en el medio físico**

No se puede declarar nada con certeza.

### **6.4.2 Impacto en el medio biótico**

No se puede declarar nada con certeza.

### **6.4.3 Impacto en el medio humano**

En la aplicación del producto uno de los componentes es el Hidróxido de sodio, provoca irritación cutánea provoca irritación ocular grave estas afectaciones a la salud fueron tomadas de la hoja MSDS del producto (CORTEC Corporation, 2019).

El producto además posee el Biobased (67%), galardonado con la designación USA BioPreferred otorgado por Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA por sus siglas en inglés) Esta certificación garantiza el porcentaje de contenido de materia biológica con esto se aumenta, el uso de recursos agrícolas renovables y contribuye a reducir los impactos ambientales y de salud adversos.

## **6.5 Impacto ambiental del inhibidor de corrosión Sika CNI**

Al igual que el inhibidor de corrosión MCI 2005 patentado, los impactos mostrados a continuación se centraron en base a sustancias derivadas posibles de la mezcla y sustancias encontradas en la hoja de datos de seguridad del material .Se recopiló la información en base a varias etapas del periodo de vida útil del producto.

## **6.5.1 Impacto ambiental durante la obtención de materia prima**

### **6.5.1.1 Impacto en el medio físico**

Una de las materias primas principales en la producción de nitrito de calcio es el gas  $NO_x$ , el cual al ser liberado en la atmósfera, los óxidos de nitrógeno presentes en el gas reaccionan con varios elementos en el aire.

Los óxidos de nitrógeno generados por la emisión de gases  $NO_x$  son fácilmente oxidables a iones nitritos ( $NO_2$ ), los cuales generan ozono troposférico propagando la destrucción de la capa de ozono. Además los gases  $NO_x$  pueden reaccionar con radicales de hidróxidos presentes en el aire generando ácido nítrico, que al ser solubles en agua, se condensan en la atmosfera contribuyendo a la acidificación en forma de lluvia ácida (Quindimil Rengel, 2014).

La lluvia ácida generada por los gases  $NO_x$  es una de las principales causas de la deforestación y acidificación del suelo (Albaladejo, 2017), además de daños a las estructuras en centros urbanos.

### **6.5.1.2 Impacto en el medio biótico**

Con respecto a una de las consecuencias de la lluvia ácida, generada por los gases  $NO_x$ , está su precipitación en lagos, ríos y mares dificultando el desarrollo de la vida acuática afectando la mortalidad de especies acuáticas (Lueavano, 2015).

Uno de los seres vivos más afectados por la propagación de ozono troposférico en la atmósfera son las plantas, debido a que este compuesto afecta a la pared celular de mucha vegetación lo cual disminuye su capacidad fotosintética que permite la conversión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en oxígeno ( $O_2$ ) (Lueavano, 2015).

### **6.5.1.3 Impacto en el medio humano**

Los gases  $NO_x$  que se emplean en la elaboración del nitrito de calcio, presentan una alta solubilidad en el agua y están relacionados con problemas respiratorios (enfisemas, bronquitis), daños en el tejido pulmonar y problemas cardiovasculares (Albaladejo, 2017).

## **6.5.2 Impacto ambiental durante la aplicación del producto**

El inhibidor de corrosión se aplica en el amasado del hormigón, por lo que los siguientes aspectos ambientales son considerados en dicho escenario.

### **6.5.2.1 Impacto en el medio físico**

En aquellos casos de mezclas de hormigón con inhibidor de corrosión que se encuentren en contacto directo con el suelo, los nitritos pueden llegar a filtrarse por el suelo y contaminar de aguas subterráneas (Jaworski, 2012).

### **6.5.2.2 Impacto en el medio humano**

Durante la aplicación de este producto se deben tener ciertas precauciones debido a que puede causar irritación en los ojos y en la piel. También, si se llegará a ingerir alguna porción del Sika CNI puede ocasionar náuseas, vómitos, colapsos e incluso coma (Sika, 2015).

De ser el caso que el inhibidor sea inhalado puede causar desde irritación a las vías respiratorias hasta dolor de garganta (Sika, 2015).

## **6.5.3 Impacto ambiental durante la disposición final**

### **6.5.3.1 Impacto en el medio físico**

El mal manejo de desperdicios de este producto puede ocasionar que residuos del material entren en el alcantarillado y dicha agua contaminada desemboque directamente en los cuerpos de agua en el caso de que no pase por una planta de tratamiento (Sika, 2015).

Otra consecuencia de un mal control de desperdicios puede ocasionar que el contenedor del Sika CNI junto con algún residuo acabe incinerándose liberando sustancias nocivas en el aire (Sika, 2015).

Los envases con residuos pueden acabar en vertederos al aire libre y por lo tanto, dicho los residuos pueden acidificar el subsuelo, reduciendo la humificación y la mineralización de la materia orgánica (Alfaro, 2012).

### **6.5.3.2 Impacto en el medio biótico**

Considerando un exceso de desperdicios de los envases de Sika CNI con residuos capaz de acidificar el subsuelo, muchas de los animales que consumen forraje presentan ciertas alteraciones debido al exceso o deficiencia de algunos minerales en suelos ácidos (Alfaro, 2012).

Otro aspecto a considerar es que el producto es inflamable, por lo que sí existe un mal desalojo del mismo, este puede acabar siendo incinerado a cielo abierto pudiendo propagar algún incendio que perjudique a la vegetación cercana (Sika, 2015).

### **6.5.3.3 Impacto en el medio humano**

En el caso de la incineración del recipiente del producto debido a un mal control de desalojo, los gases liberados pueden afectar las vías respiratorias de todo ser vivo expuesto a ellos (Sika, 2015).

## **6.6 Clasificación SGA**

Este es un sistema armonizado para la clasificación y etiquetado de productos químicos abarcando peligros a la salud, peligros físicos y ambientales, y se base en tres etapas (Naciones Unidas, 2003):

- Identificación de los datos relevantes sobre los peligros de una sustancia o mezcla.
- Examen de estos datos para identificar los peligros asociados a la sustancia o mezcla.
- Decisión sobre si la sustancia o mezcla clasifica como peligrosa y determinación de su grado de peligrosidad.

Cuando no existen datos de ensayos de la mezcla y/o información disponible no se puede aplicar el método de extrapolación, la determinación de peligros para la salud y el medio ambiente se deben realizar efectuando los métodos convenidos en cada capítulo del SGA para determinar los peligros del producto (SGA, 2021).

La ONU adoptó el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) como sistema de clasificación y etiquetado de las sustancias químicas con el fin de equiparar la

comunicación de los peligros en todo el mundo y así aminorar los riesgos de daños a la salud y el ambiente por el uso indebido de las sustancias (Ospina, 2019).

El SGA pretende facilitar información, en un lenguaje uniforme y coherente, que está vinculada con los efectos que pueden producir la aplicación de productos químicos, a través de una clasificación y etiquetado que sea armónico y comprensible globalmente (ARP-SURA, 2017).

Los criterios de clasificación de los peligros físicos, para la salud y el ambiente, que entrañan los productos químicos se encuentran definidos en el SGA posee un enfoque lógico y completo del análisis (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En la clasificación SGA se distinguen estos peligros:

- **Líquido comburente**

Es un líquido que por lo general puede llegar a desprender oxígeno, suscitan o ayudan la combustión de otras sustancias esto es sin ser forzosamente combustible en sí (Costa Rica, 2015).

- **Toxicidad aguda (oral)**

La Norma 423 de la OECD determina el estudio de toxicidad aguda oral la cual se realizó acorde a lo descrito, que describe el método de la Clase Tóxica Aguda.

- **Lesiones o irritación ocular**

Las lesiones son causadas por cuerpos extraños conjuntivales o corneales, triquiasis, blefaritis, ojo seco (Ministerio de Salud, n.d.)

- **Toxicidad acuática aguda**

La toxicidad acuática es aquella que está relacionada con la capacidad de una sustancia de ejercer un efecto nocivo sobre los organismos o la biocenosis y el efecto generado dependerá de la duración y la frecuencia de exposición al toxico en el medio acuático (Diaz et al., 2004).



- **Irritaciones cutáneas**

De acuerdo a OECD (2021), la irritación cutánea se deben a un análisis evaluado en las Directrices de la OCDE para las pruebas de sustancias químicas son una colección de aproximadamente 150 de los métodos de prueba acordados internacionalmente más relevantes utilizados por el gobierno, la industria y laboratorios independientes para identificar y caracterizar los peligros potenciales de las sustancias químicas.

Irritación de la piel significa una piel roja y dolorosa que se ha irritado por el contacto con sustancias tóxicas (Carmena-Ramón et al, 2017).

Dado que para este trabajo se disponía de las MSDS de ambos productos y que en dichas hojas se detalla la clasificación SGA de cada uno de ellos, en el presente se toma la clasificación SGA como la base de comparación para evaluar el impacto ambiental de cada uno. La metodología de evaluación consiste en comparar las clasificaciones SGA respecto de los distintos tipos de peligros a fin de identificar cual es el producto que está asociado a más peligros y su respectiva severidad asociada a su clasificación SGA. En el SGA las categorías de peligro se denotan con números, siendo siempre la categoría 1 la de mayor severidad dentro de la clase. Dependiendo de la clase de peligro, las categorías pueden ir del 1 al 5; para algunas clases de peligro, una categoría puede desglosarse en A, B o C (Naciones Unidas, 2003). Dicha comparación se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 6.1 .- Comparación de la clasificación SGA de los inhibidores con base a nitrito de calcio y los inhibidores con base a aminos y éteres, [Elaboración propia, 2021]**

Clasificación SGA	Inhibidor	
	Nitrato de calcio	Aminos y éteres
Líquidos comburentes	Categoría 2	
Toxicidad aguda(oral)	Categoría 3	
Lesiones o irritación ocular	Categoría 2A	Categoría 2 A
Toxicidad acuática aguda	Categoría 1	
Corrosión/irritación cutáneas		Categoría 2

Como se distingue en la Tabla 6.1, el inhibidor en base de nitrito de calcio tiene 4 peligros clasificados mientras que el inhibidor en base a áminas y éteres tiene únicamente 2. Se resalta también que el inhibidor inorgánico tiene un peligro con la categoría más severa mientras que el orgánico no tiene peligros con categoría 1. Todo esto da cuenta de que la alternativa inorgánica es más nociva que la orgánica.

### 6.7 Medidas de prevención en la aplicación de ambos inhibidores

Las medidas de prevención de los peligros detallados en la Tabla 6.2 fueron extraídas de las hojas de datos de seguridad de ambos inhibidores de corrosión.

**Tabla 6.2 .- Tabla comparativa de las medidas de prevención en la aplicación de los inhibidores de corrosión MCI 2005 patentado y Sika CNI, [Elaboración propia, 2021]**

Medidas de prevención	Inhibidor en base a nitrato de calcio	Inhibidor en base a aminas y éteres
Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición	X	
Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles	X	
Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación	X	X
No comer, beber ni fumar durante su utilización.	X	X
Evitar su liberación al medio ambiente.	X	

Medidas de prevención	Inhibidor en base a nitrato de calcio	Inhibidor en base a aminos y éteres
Llevar guantes/ gafas/ máscara de protección.	X	X
En caso de ingestión: Llamar inmediatamente a un centro de información toxicológica o a un médico. enjuagarse la boca	X	X
En caso de contacto con los ojos: aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar los lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.	X	X
En caso de incendio: Utilizar arena seca, producto químico seco o espuma resistente al alcohol para la extinción	X	X
Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos autorizada	X	
No permita que las aguas de extinción entren en el alcantarillado o en los cursos de agua.	X	X

Medidas de prevención	Inhibidor en base a nitrato de calcio	Inhibidor en base a aminos y éteres
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.	X	
El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado.	X	X
De existir un incendio los restos y el agua de extinción contaminada deben eliminarse según las normas locales en vigor.	X	
En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo	X	X
<p>Recoger con un producto absorbente inerte (por ejemplo, arena, diatomita, fijador de ácidos, fijador universal, serrín).</p> <p>Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación</p>	X	X
Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado	X	X
Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar	X	X

Medidas de prevención	Inhibidor en base a nitrato de calcio	Inhibidor en base a aminos y éteres
cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.		
Utilice protección respiratoria a menos que exista una ventilación de escape adecuada o a menos que la evaluación de la exposición indique que el nivel de exposición está dentro de las pautas recomendadas.	X	X
La clase de filtro para el respirador debe ser adecuado para la concentración máxima prevista del contaminante (gas/vapor/aerosol/particulados) que puede presentarse al manejar el producto. Si se excede esta concentración, se debe utilizar un aparato respiratorio autónomo.	X	X
Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa.	X	X

## 6.8 Conclusiones y recomendaciones

Se describió cada alternativa desde el punto de vista ambiental argumentando sus pros y contras encontradas en la literatura.

Se realizó una identificación y valoración de los impactos de los productos en base a la información disponible en el MSDS.

Para la valoración de los impactos se procedió a analizar un cuadro comparativo según su clasificación SGA constatando que el inhibidor en base a nitrito de calcio es más perjudicial para la salud y el medio ambiente. La información del MSDS de uno de los inhibidores tuvo que ser solicitada semanas previas para su análisis se encuentra en su idioma original en los anexos.

Se puede evidenciar cómo el inhibidor en base a nitrito de calcio posee más afectaciones a la salud y al medio ambiente frente al inhibidor orgánico; este trabajo se analizó desde un punto de vista objetivo, se sabe que pueden existir afectaciones desconocidas en el proceso de obtención de materia prima o fabricación del inhibidor en base a aminas y éteres, no obstante sus certificaciones lo catalogan como un inhibidor con bajo o nulo impacto ambiental.

Se realizó un resumen de medidas de prevención en el uso de los inhibidores.

Se debe tomar en cuenta que todas las medidas de seguridad y recomendaciones que se encuentran en las hojas MSDS de los productos para su manipulación y almacenamiento adecuado.

# CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

El software Service Life 365 fue de gran utilidad al determinar el periodo de vida útil de un elemento estructural de hormigón armado, debido a que proporcionó resultados bastante confiables con respecto a la estimación del inicio de la corrosión y al análisis de costo de ciclo de vida, el cual dependía del tiempo de propagación de cloruros en el hormigón ( $t_i$ ) y en la varilla de acero de refuerzo ( $t_p$ ).

La difusión de cloruros en el elemento de hormigón armado simulado en el programa están hechas en base a los datos obtenidos en las experimentaciones realizadas en los países de América del Norte por lo tanto este valor cambiaría en nuestro país aquello sucedería por la composición del cemento.

Por medio del Service Life 365 se logró modelar varias secciones propuestas en el proyecto, considerando las limitaciones del programa, además se evaluaron varios parámetros y situaciones para cada sección como: el historial de temperatura media mensual que dependía del sitio de análisis, la relación agua/cemento que dependía de la dosificación de la mezcla, la presencia del inhibidor de corrosión para el análisis de ciclo de vida, y la consideración de materiales cementantes que favorezcan la resistencia frente a la propagación de cloruros por el hormigón.

Se analizó un elemento de hormigón armado considerando tres alternativas: la aplicación de la mezcla de hormigón convencional, el uso de la mezcla de hormigón propuesta sin inhibidor de corrosión y el uso de la mezcla propuesta con la presencia del inhibidor, con el fin de comparar los resultados obtenidos y constatando el incremento de vida útil ganado de las últimas dos alternativas frente a la mezcla de hormigón convencional.

Con la aplicación del software Service Life 365 se realizó un análisis costo-beneficio de todo el ciclo de vida útil del elemento considerando el costo inicial de la mezcla de hormigón y un costo de reparación referencial. Este análisis se lo realizó en dos situaciones, considerando la mezcla con el inhibidor de corrosión y sin la presencia de este producto.

En cuanto a los casos de estudio se pudo constatar que la relación agua/cemento es fundamental a la hora de usar inhibidor siendo esta provechosa cuando se trabaja con una relación menor a 0.5.

Las evidencias encontradas y expuestas en el estudio de impacto ambiental descrito en el proyecto y la relación costo-beneficio descrita en el análisis de costos, demostraron que el inhibidor en base a aminas y éteres es superior al inhibidor a base a nitrito de calcio.

En cuanto a la mezcla de hormigón propuesta, se la realizó con una dosificación óptima, la cual, a pesar de trabajar con una relación agua cemento alta, posee las proporciones apropiadas de materiales cementantes que mejoran la resistencia a la corrosión del elemento de hormigón armado, lo cual se constató mediante simulaciones de varios casos de estudio en el Servicio Life 365.

El costo inicial al momento de emplear la mezcla propuesta es elevado, sin embargo al realizar una proyección a futuro, esta mezcla mostró un mejor rendimiento tanto en costo como en el impacto ambiental, debido a que, al incrementarse el periodo para el inicio de la corrosión, se requerirá menos actividades de reparación estructural evitando todo el impacto ambiental que generarían estos mantenimientos.

## **7.2 Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar el campo de la investigación de este proyecto, con la finalidad de considerar la corrosión por carbonatación en conjunto con la corrosión por ataque de cloruros, a fin obtener un análisis más completo y verídico.
- Se recomienda realizar ensayos de laboratorios que permitan obtener el valor de difusión de cloruros a través del hormigón, dado que la base de datos que usa el programa Service Life 365 está realizada en base a los materiales cementantes del país de origen del software.
- Se recomienda realizar ensayos de laboratorio en las localidades de estudio a fin de tener los valores de concentraciones de cloruros máximos en las superficies de los elementos estructurales de hormigón armado expuestas a un ambiente salino a diferentes cercanías con el mar y a diferentes años de construcción, con la finalidad de levantar una base de datos adaptados a nuestro país.



- Se recomienda realizar ensayos de laboratorio con respecto a la propagación de cloruros por lo menos en periodos de un año para tener datos más reales y con más certeza.
- Se recomienda hacer una investigación más profunda y encontrar un modelo matemático que relacione las variables más importantes que afectan los elementos de hormigón armado con respecto a la corrosión, variables como: humedad relativa, porosidad del hormigón, influencia del viento, entre otros parámetros.
- Se recomienda realizar un estudio más profundo con respecto al periodo de propagación, con la finalidad de estimar un valor confiable considerando la pérdida de resistencia causadas por la corrosión en el refuerzo de elementos de hormigón armado como columnas y losas.
- Se recomienda trabajar con materiales directos de la cantera más cercana al lugar donde se analice la corrosión.
- Se recomienda realizar un estudio más detallado para la tasa de inflación de los precios de los distintos materiales de la mezcla y realizar un análisis de precio unitario considerando la reparación estructural de cada elemento de estudio, a fin de obtener un análisis de costo de ciclo de vida mucho más detallado y verídico.
- Se recomienda profundizar más en ensayos de laboratorios con materiales cementantes que permitan obtener un mejor rendimiento frente a la corrosión sin comprometer la resistencia estructural.
- Se recomienda trabajar con la mezcla propuesta en la tesis como tema de investigación a fin de demostrar su efectividad.

# BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2018). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. USA: American Concrete Institute.
- ACI Material Journal. (2 de Noviembre de 1993). *ACI Materials Journal*. Obtenido de Analysis of chloride diffusion into partially saturated concrete: <https://trid.trb.org/view/383377>
- ACI-201R. (1997). *Guide to Durable Concrete*. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- ASTM. (2008). *Historical Standard: Especificación estándar para Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón*. USA: ASTM C168-17.
- ASTM. (2008). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. USA: ASTM C168-19.
- Contraloría general del Estado. (Enero de 2021). *Contraloría general del Estado*. Obtenido de Salarios Mano de Obra: <https://www.contraloria.gob.ec/Informativo/SalariosManoObra>
- Dapena, E., Ibarrola, J., & Llord, D. (2004). *Características de las mezclas de cemento CEM I 42,5R/SR y humo de sílice*. Obtenido de Revista Digital Del Cedex: <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2101>
- El Diario. (20 de Octubre de 2018). *El Diario.ec*. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/485738-refuerzan-columnas-de-edificio-municipal/>
- Gharaibeh, E. S., & Hanai, T. (2000). Effects of uncertainties on chloride penetration in saturated concrete. *Proceedings 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, PCM2000-241*. South Bend. Recuperado el 24-26 de Julio de 2000
- Insucons. (2021). *Insucons*. Obtenido de <https://www.insucons.com/ec/>
- NEC-SE-HM. (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del Concreto* (Primero ed.). México D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología del concreto*. México D.F: Editorial Trillas.
- Repetto, C. (2021). Construcción y Desarrollo. *Cámara de la Construcción de Guayaquil*, 64.
- Saetta, A. V., Scotta, R. V., & Vitaliani, R. V. (1993). Analysis of chloride diffusion into partially saturated concrete. *ACI Material Journal*.
- Tang, L. (1996). *Chloride Transport in Concrete. Measurement and Prediction*. Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Terreros, C. (2006). *Materiales de Construcción*. Guayaquil: Espol.
- Traversa, L. P., Zicarelli, S., & Di Maio, A. A. (2003). Análisis de algunos factores que influyen la difusión de cloruros en el hormigón. *Memorias 15° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*. Santa Fé: CD-ROM. Recuperado el 21-24 de Octubre de 2003
- ACI Committee 116. (2000). ACI 116R-90. Cement and Concrete Terminology. *American Concrete Institute*, 58. Retrieved from [http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI\\_116R-00\\_Cement\\_and\\_Concrete\\_Terminology\\_MyCivil.ir.pdf](http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI_116R-00_Cement_and_Concrete_Terminology_MyCivil.ir.pdf)
- Allauca; Amen; Lung. (2012). Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño . *Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Facultad de Ingeniería En Ciencias de La Tierra*, (1), 1–8. Retrieved from [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso de sílice en hormigones de alto desempeño.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso_de_silice_en_hormigones_de_alto_desempeño.pdf)
- Amaya, J. L., Cornejo, M., & Rigail-cedeno, A. (2016). *Analysis of the Life Cycle Cost of Corrosion Inhibitors for the Protection of Concrete Reinforced Structures Análisis del costo del ciclo de vida del uso de inhibidores de corrosión para la protección de estructuras de hormigón armado*. (July 2016), 20–22.
- Andrade, C., Alonso, C., & Molina, F. J. (1993). Cover cracking as a function of bar corrosion: Part I-Experimental test. *Materials and Structures*, 26(8), 453–464. <https://doi.org/10.1007/BF02472805>
- Andrade, Carmen. (2018). Some historical notes on the research in corrosion of reinforcement. *Hormigón y Acero*, 69, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2018.12.002>
- Aperador Chaparro, W., Gordillo, M., & Bautista Ruiz, J. H. (2013). Evaluación de la

- corrosión del acero embebido en concreto AAS, expuesto a carbonatación mediante un experimento factorial con medidas repetidas. *Ingeniería y Ciencia*, 9(17), 237–260. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.9.17.12>
- Argyropoulos, V., Boyatzis, S. C., Giannoulaki, M., Guilminot, E., & Zacharopoulou, A. (2021). Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage. In *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1>
- Armado, H., & Duffó, G. S. (2019). *CORROSIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO: Un fenómeno bien conocido pero que aún sigue causando considerables daños*.
- ARP-SURA. (2017). Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Bamforth, P. B. (2002). *CONCRETE DURABILITY BY DESIGN: Limitations of the current prescriptive approach and alternative methods for durability design*. (Fig 1).
- Bentz, E. C., & Thomas, M. D. A. (2012). *Life-365-Service Life Prediction Model and Computer Program for Predicting the Service Life and Life-Cycle Cost of Reinforced Concrete Exposed to Chlorides*. 1–80.
- Berke, N. S., & Rosenberg, A. (1989). Technical review of calcium nitrite corrosion inhibitor in concrete. *Transportation Research Record*, (1211), 18–27.
- Boddy, A., Bentz, E., Thomas, M. D. A., & Hooton, R. D. (1999). Overview and sensitivity study of a multimechanistic chloride transport model. *Cement and Concrete Research*, 29(6), 827–837. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00045-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00045-9)
- Calleja, J., & Andrade, M. (1973). Prevención de la corrosión de armaduras en el hormigón mediante aditivos inhibidores. *Materiales de Construcción*, 23(150–151), 175–190.
- Carmena-Ramón, R., Mateu-Puchades, A., Santos-Alarcón, S., & Lucas-Truyols, S. (2017). Actinic keratosis: New concept and therapeutic update. *Atencion Primaria*, 49(8), 492–497. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2017.01.004>
- Carrero, J. (2018). *Monitoreo de la corrosión inducida por penetración de cloruros. Método de la macrocelda*.
- Chatterji, S. (1994). Transportation of ions through cement based materials. Part 1 fundamental equations and basic measurement techniques. *Cement and Concrete Research*, 24(5), 907–912. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90010-8)

- Coppiano Gutierrez, I. J. (2016). *USO DE CENIZA VOLCANICA COMO PUZOLANA NATURAL EN MEZCLAS DE HORMIGON*. 4(4).
- Costa Rica. (2015). *Decreto Ejecutivo No. 38924-S El Presidente de la República y la Ministra de Salud*. 5(40705).
- Cuetara Ricardo, J. R., & Howland Albear, J. J. (2018). Empleo de la metodología de superficies de respuesta para determinar el factor k de las puzolanas naturales y su influencia en la durabilidad de los hormigones. *Hormigón y Acero*, 70(287), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2018.06.002>
- De Silva, M., & Henderson, J. (2011). Sustainability in conservation practice. *Journal of the Institute of Conservation*, 34(1), 5–15. <https://doi.org/10.1080/19455224.2011.566013>
- Di Sarno, L., & Pugliese, F. (2020). Numerical evaluation of the seismic performance of existing reinforced concrete buildings with corroded smooth rebars. In *Bulletin of Earthquake Engineering* (Vol. 18). <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00854-8>
- Díaz, S. (2012). *Estimación Del Impacto Del Tiempo De Corrosión En La Evolución Del Riesgo De Estructuras De Concreto Reforzado*. 204.
- El Ibrahim, B., Jmiai, A., Bazzi, L., & El Issami, S. (2020). Amino acids and their derivatives as corrosion inhibitors for metals and alloys. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 740–771. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.07.013>
- EPA. (2002). Latest findings on national air quality. *EPA Publications*, (454 K-02–001), 1–27.
- Erik Castro, E. V. (2020). *Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón*. 131.
- Garrido Ruiz, M. C. (2016). Cálculo del período de iniciación de la corrosión de la armadura del hormigón. In *La tesis doctoral en teorico y empirico*.
- Guerra, J., Castañeda, A., & Howland, J. (2016). Estudio preliminar de la agresividad corrosiva de la atmósfera en el puente de los Caras, Manabí, Ecuador. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 47(November), 17–29.
- Guerrero, J., Montoya, H., Rodríguez, F., De la Cruz, M., & Antonio, M. (2014). IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF THE RISK OF CORROSION IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN INDUSTRIAL PLANTS SUBJECTED TO AN ACIDIC ENVIRONMENT. *Cp*, 35020(July), 676. Retrieved from [http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/249/CIDIP2014\\_0676\\_0688.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/249/CIDIP2014_0676_0688.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., Rojas Vega, L. D., & Segura Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(2), 80. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.1632>
- Gutiérrez, M. P. A., & Cánovas, M. F. (1999). El coeficiente de eficacia del humo de sílice. *Materiales de Construcción*, 1999(253), 57–63. <https://doi.org/10.3989/mc.1999.v49.i253.458>
- INEN 494. (1980). *Puzolanas. Requisitos*. 1–5.
- Irwin, P. G. (2003). A Strategic Review of International Animal Protection. *Humane Society Institute for Science and Policy: Animal Studies Repository*, 2003, 1–8.
- Jaber, T. (2016). *High-Performance Concrete: Applying Life-Cycle Cost Analysis and Developing Specifications*. (December).
- Johannesson, B., & Nyman, U. (2010). A Numerical Approach for Non-Linear Moisture Flow in Porous Materials with Account to Sorption Hysteresis. *Transport in Porous Media*, 84(3), 735–754. <https://doi.org/10.1007/s11242-010-9538-3>
- Kenny, A., & Katz, A. (2020). Steel-concrete interface influence on chloride threshold for corrosion – Empirical reinforcement to theory. *Construction and Building Materials*, 244, 118376. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118376>
- López, J. (2004). Porosidad del concreto. *Universidad de San Carlos de Guatemala*, (Trabajo fin de grado), 84.
- Lozano, A., & Tabango, M. (2019). Correlación de las propiedades físico-mecánicas del hormigón de alta resistencia fabricado con y sin adiciones de residuos industriales. *Universidad Central Del Ecuador*, 188.
- Malheiro, R. M. de C., Meira, G. R., & Lima, M. S. de. (2014). Influência da camada do revestimento de argamassa na penetração de cloretos em estruturas de concreto TT. *Ambiente Construído*, 14(1), 41–55. Retrieved from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212014000100005&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/ac/v14n1/v14n1a05.pdf](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000100005&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/ac/v14n1/v14n1a05.pdf)
- Mangat, P. S., & Molloy, B. T. (1994). Prediction of long term chloride concentration in concrete. *Materials and Structures*, 27(6), 338–346. <https://doi.org/10.1007/BF02473426>
- Martin-perez, B., & Mart, B. (2014). *Service Life Modelling of R . C . Highway Structures Exposed to Chlorides by A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Graduate Department of Civil Engineering*



- University of Toronto c Copyright by Beatri.* (January).
- Meijers, S. J. H., Bijen, J. M. J. M., De Borst, R., & Fraaij, A. L. A. (2005). Computational results of a model for chloride ingress in concrete including convection, drying-wetting cycles and carbonation. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 38(276), 145–154. <https://doi.org/10.1617/14133>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Estrategia Nacional para la implementación del Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos – SGA - en Colombia (2016-2020)*. Retrieved from [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias\\_químicas\\_y\\_residuos\\_peligrosos/A4\\_-\\_Estrategia\\_nacional\\_SGA\\_2017\\_ultima\\_vs.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_químicas_y_residuos_peligrosos/A4_-_Estrategia_nacional_SGA_2017_ultima_vs.pdf)
- Ministerio de Salud. (n.d.). *Guía de atención de estrabismo*.
- Monosi, S., Moriconi, G., Alvera, I., & Collepardi, M. (1989). *Effect of water/cement ratio and curing time on chloride penetration into concrete*.
- Montemor, M. F. (2016). Fostering green inhibitors for corrosion prevention. In *Springer Series in Materials Science* (Vol. 233). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7540-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7540-3_6)
- Muñoz Noval, A. (2009). *COMPORTAMIENTO DE VIGAS HIPERESTÁTICAS DE HORMIGÓN ARMADO CORROÍDAS Y REPARADAS CON EL MORTERO. PÉRDIDA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO Y FISURACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE HORMIGÓN POR CORROSIÓN*. 12–42.
- Muñoz, S., & Gianela, P. (2020). *Evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante en índice de calidad de agua ICA-NSF*. 2017(1), 1–9.
- Olaya, G. (1982). Evaluación de la contaminación por monóxido de carbono en Bogotá. *Ingeniería e Investigación*, 2, 80–84. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/21562/22568>
- Ospina, M. del M. (2019). *SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO (SGA) PARA LA IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS*.
- Ossorio, A., & Lorenzo, R. (2014). Service-life prediction of reinforced concrete structures through a chloride diffusion model. *Revista Facultad de Ingeniería*, (72), 161–172.
- Paredes, J., Prieto, J., & Santos, E. (2013). Corrosión del acero en elementos de homigón armado: vigas y columnas. In *Redalyc* (Vol. 1).
- Perez Cotrina, D. (2017). INFLUENCIA DEL ADITIVO INHIBIDOR DE CORROSIÓN SIKA® CNI EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE ACERO EMBEBIDO EN

- CONCRETO, EXPUESTO EN AMBIENTES MARINOS DE LA ZONA COSTERA DE TRUJILLO, 2018. *Ucv*, 358.
- Powers, T. C. (1958). Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. *Structure*, 41(1), 1–6.
- Quintero Ortíz, L. A., HERRERA, J., CORZO, L., & GARCÍA, J. (2011). Relationship Between Compressive Strength and Porosity of Concrete Evaluated From Ultrasonic Parameters. *Revista ION*, 24(1), 69–76.
- Ramírez, E. (2008). Impactos del cambio climático y gestión del agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto. *Revista Virtual REDESMA*, 2(3), 49–61.
- Rani, B. E. A., & Basu, B. B. J. (2012). Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview. *International Journal of Corrosion*, 2012(i). <https://doi.org/10.1155/2012/380217>
- Rocca, E., & Mirambet, F. (2007). Corrosion inhibitors for metallic artefacts: Temporary protection. *Corrosion of Metallic Heritage Artefacts: Investigation, Conservation and Prediction of Long Term Behaviour*, 308–334. <https://doi.org/10.1533/9781845693015.308>
- Rodríguez, E. (2012). *Efecto de la incorporación de materiales basados en sílice sobre las propiedades de matrices de cemento portland y activadas alcalinamente*.
- Samson, E., Marchand, J., & Beaudoin, J. J. (1999). Describing ion diffusion mechanisms in cement-based materials using the homogenization technique. *Cement and Concrete Research*, 29(8), 1341–1345. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00101-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00101-5)
- Sandberg, P., Tang, L., & Andersen, A. (1998). Recurrent Studies of Chloride Ingress in Uncracked Marine Concrete At Various Exposure Times and Elevations. *Cement and Concrete Research*, 28(10), 1489–1503.
- Sharma, S. K., & Sharma, A. (2011). Green Corrosion Inhibitors: Status in Developing Countries. *Green Corrosion Chemistry and Engineering: Opportunities and Challenges*, 157–180. <https://doi.org/10.1002/9783527641789.ch6>
- Solano, S., Estupiñán, H., Vásquez, C., & Peña, D. (2013). SIMULATION OF ION CL-DIFFUSION UNTIL DESPASIVACIÓN OF REINFORCING STEEL IN CONCRETE WITH MICROSILICA AS ADDITIVE AND EXPOSED TO CARBONATION. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, (34), 15–24.
- Solís-Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con



- agregado calizo. *Revista de La Facultad de Ingenieria*, 21(3), 57–68.
- Song, H. W., & Saraswathy, V. (2006). Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag-An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 138(2), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.07.022>
- Stanish, K., & Thomas, M. (2003). The use of bulk diffusion tests to establish time-dependent concrete chloride diffusion coefficients. *Cement and Concrete Research*, 33(1), 55–62. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00925-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00925-0)
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, álvaro. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, 8(1), 108–117. <https://doi.org/10.1590/s0124-00642006000100010>
- Thoft, C. (2006). *MODELLING OF THE DETERIORATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES. 5.*
- Thomas, M. D. A., & Bamforth, P. B. (1999). Modelling chloride diffusion in concrete effect of fly ash and slag. *Cement and Concrete Research*, 29(4), 487–495. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00192-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00192-6)
- Torres, A., Martinez, W., Lomelí, M., & Perez, A. (2010). Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto. *Secretaria de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte*, (328), 90. Retrieved from <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt328.pdf>
- Torres Acosta, A., & Martinez Madrid, M. (2006). Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad. *Society*, 25(181), 195–202. Retrieved from [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=12071716](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12071716)
- Tra, V., Nguyen, T. K., Kim, C. H., & Kim, J. M. (2021). Health indicators construction and remaining useful life estimation for concrete structures using deep neural networks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094113>
- Truc, O., Ollivier, J. P., & Nilsson, L. O. (2000). Numerical simulation of multi-species transport through saturated concrete during a migration test - MsDiff code. *Cement and Concrete Research*, 30(10), 1581–1592. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00305-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00305-7)
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of steel in concrete.*
- Velásquez, J. S. (2014). *Evaluación de métodos para aumentar la actividad puzolánica*

*del Humo de Sílice en morteros.*

- Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Revista Tecno Lógicas*, (25), 169–187. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/3442/344234320010.pdf>
- Verma, C., Ebenso, E. E., Bahadur, I., & Quraishi, M. A. (2018). An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys in aggressive corrosive media. *Journal of Molecular Liquids*, 266, 577–590. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.06.110>
- Villagrán Zaccardi, Y. . (2012). *Estimations of Chloride Ingress into Concrete and Reinforcement Pitting.*

# ANEXOS

## Anexo 1.- Tablas de Diseño de Vigas

### - Diseño de la viga A

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	4.73	m
bw =	250	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	350	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	300	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:		
<b>Primera verificación</b>		
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia
0 < 21875		
<b>Segunda verificación</b>		
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE
16,31 > 4		
<b>Tercera verificación</b>		
bw > 250 mm	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h		
<b>Cuarta verificación</b>		
bw < 3c2	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1		

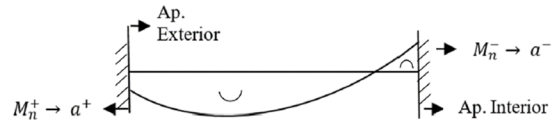
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)	Gancho (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)								
Exterior	Apoyo exterior negativo	0.78	0.79	0.70	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
	Apoyo exterior positivo	0.78	0.79	0.70	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
	Negativo (centro)	0.78	0.79	0.70	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
	Positivo (centro)	0.78	0.79	0.70	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
	Apoyo interior negativo	-0.94	-0.95	0.84	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
Interior	Apoyo interior positivo	0.78	0.79	0.70	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
	Negativo (centro)	0.78	0.79	0.70	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4
	Positivo (centro)	3.29	3.33	2.95	12	3	12	3.4	0.079	3.56	0.005	2.24	19	20	14.4
	Apoyo interior negativo	-3.1	-3.14	2.78	12	3	12	3.4	0.079	3.56	0.005	2.24	19	20	14.4
	Apoyo interior positivo	1.55	1.57	1.39	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20	14.4

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	0.39	0.47	1.55
	Mn+/- cualquier sección >=	0.78		

<< Establecido por los límites
<< Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6"

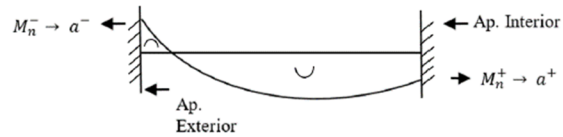
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	2.68	cm
Mpr- =	3.33	Ton*m
a+ =	2.68	cm
Mpr+ =	3.33	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	2.68	cm
Mpr- =	3.33	Ton*m
a+ =	2.68	cm
Mpr+ =	3.33	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.25	T/m
Ln =	4.73	m
Vg =	0.60	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve q =	1.41	T
--------	------	---

Vu =	2.00	T
------	------	---

Verificaciones:				
Vu/2 =	1.00	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*f'c/20 =	10.9375	T	Pu < Ag*f'c/20	

Vs =	2.67	T	
Límites:			
2.2(vf'c)*bw*d	25.22	T	OK
1.1(vf'c)*bw*d	12.61	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales:	2	
s =	71.57	cm
Límites:		
d/4 =	7.4	cm
8 db (min) =	9.6	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

**Comprobar Torsión**

Ph =	840	mm
Aoh =	41600	mm2
Vc =	6.08	T
Acp =	87500	mm2
Pcp =	1200	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

0.277 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.20	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------



- Diseño de la viga B

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	4.73	m
bw =	300	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	250	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	300	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 26250			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
16,31 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	900	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	675		

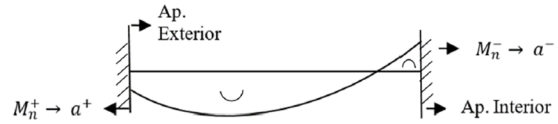
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	2.12	2.15	1.90	12	2	12	2.3	0.044	2.43	0.003	6.93	19	20
	Apoyo exterior positivo	2.12	2.15	1.90	12	2	12	2.3	0.044	2.43	0.003	6.93	19	20
	Negativo (centro)	2.12	2.15	1.90	12	2	12	2.3	0.044	2.43	0.003	6.93	19	20
	Positivo (centro)	2.31	2.34	2.07	12	2	12	2.3	0.044	2.43	0.003	6.93	19	20
	Apoyo interior negativo	0.53	0.54	0.47	12	2	12	2.3	0.044	2.43	0.003	6.93	19	20
	Apoyo interior positivo	0.53	0.54	0.47	12	2	12	2.3	0.044	2.43	0.003	6.93	19	20

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	1.06	0.27	0.00
	Mn+/- cualquier sección >=	0.53		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6''

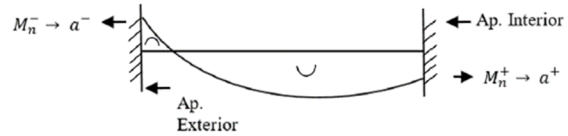
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	2.24	cm
Mpr- =	3.36	Ton*m
a+ =	2.24	cm
Mpr+ =	3.36	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	2.24	cm
Mpr- =	3.36	Ton*m
a+ =	2.24	cm
Mpr+ =	3.36	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.25	T/m
Ln =	4.73	m
Vg =	0.60	T

Verificaciones:				
Vu/2 =	1.01	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*fc/20 =	13.125	T	Pu < Ag*fc/20	

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	1.42	T
------	------	---

Vs =	2.69	T	
Límites:			
2.2(v'fc)*bw*d	30.26	T	OK
1.1(v'fc)*bw*d	15.13	T	OK

Vu =	2.02	T
------	------	---

- Se asume estribos de 10 mm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

# Ramales:	2	
s =	71.17	cm
Límites:		
d/4 =	7.15	cm
8 db (min) =	9.6	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.12	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	940	mm
Aoh =	54600	mm2
Vc =	7.29	T
Acp =	105000	mm2
Pcp =	1300	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.232 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.26	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)

- Diseño de viga C

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	4.73	m
bw =	300	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	350	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	400	mm	Tu =	0.035	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 26250			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
16,31 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	1200	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	925		

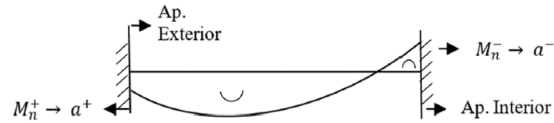
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	2.12	2.15	1.07	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	30
	Apoyo exterior positivo	2.12	2.15	0.84	18	2	18	5.1	0.098	5.24	0.006	6.46	28	30
	Negativo (centro)	2.12	2.15	1.07	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	30
	Positivo (centro)	8.57	8.69	3.41	18	4	18	10.2	0.197	9.88	0.012	1.68	28	30
	Apoyo interior negativo	-7.27	-7.37	3.66	16	4	16	8.0	0.155	7.99	0.009	1.78	25	30
	Apoyo interior positivo	3.64	3.69	1.45	18	2	18	5.1	0.098	5.24	0.006	6.46	28	30
Interior	Negativo (centro)	2.12	2.15	1.07	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	30
	Positivo (centro)	9.58	9.71	3.82	18	4	18	10.2	0.197	9.88	0.012	1.68	28	30
	Apoyo interior negativo	-8.48	-8.60	4.27	16	5	16	10.1	0.194	9.75	0.012	1.18	25	30
	Apoyo interior positivo	4.24	4.30	1.69	18	2	18	5.1	0.098	5.24	0.006	6.46	28	30

Limites:	Mn+ cara del nudo >=	1.06	3.64	4.24
	Mn+/- cualquier sección >=	2.12		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6''

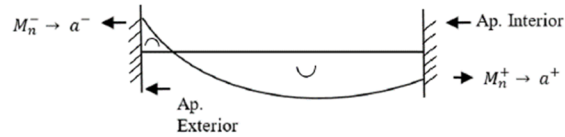
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	7.95	cm
Mpr- =	10.65	Ton*m
a+ =	5.03	cm
Mpr+ =	7.10	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	3.97	cm
Mpr- =	5.75	Ton*m
a+ =	5.03	cm
Mpr+ =	7.10	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D +0.5 L)

qu =	0.30	T/m
Ln =	4.73	m
Vg =	0.71	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve q =	3.75	T
--------	------	---

Vu =	4.46	T
------	------	---

Verificaciones:			
Vu/2 =	2.23	T	Vu/2 > Vg
Ag*f'c/20 =	13.125	T	Pu < Ag*f'c/20
Vc = 0			

Vs =	5.95	T	
Límites:			
2.2(vf'c)*bw*d	30.26	T	OK
1.1(vf'c)*bw*d	15.13	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales:	2	
s =	32.15	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.12	cm2

**Comprobar Torsión**

Ph =	940	mm
Aoh =	54600	mm2
Vc =	7.29	T
Acp =	105000	mm2
Pcp =	1300	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

0.517 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.26	T*m
Tu =	0.035	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$ (a)



- Diseño de viga D

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	4.73	m
bw =	250	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	350	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	300	mm	Tu =	0.018	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 21875			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
16,31 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	900	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	825		

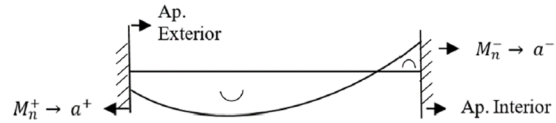
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	-1.14	-1.16	1.02	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20
	Apoyo exterior positivo	0.79	0.80	0.71	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20
	Negativo (centro)	0.79	0.80	0.71	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20
	Positivo (centro)	3.54	3.59	3.17	12	4	12	4.5	0.105	4.66	0.006	1.34	19	20
	Apoyo interior negativo	-3.16	-3.20	2.83	12	3	12	3.4	0.079	3.56	0.005	2.24	19	20
Interior	Apoyo interior positivo	1.58	1.60	1.42	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20
	Negativo (centro)	0.79	0.80	0.71	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20
	Positivo (centro)	3	3.04	2.69	12	3	12	3.4	0.079	3.56	0.005	2.24	19	20
	Apoyo interior negativo	-2.87	-2.91	2.57	12	3	12	3.4	0.079	3.56	0.005	2.24	19	20
	Apoyo interior positivo	1.44	1.46	1.29	12	2	12	2.3	0.052	2.38	0.003	4.96	19	20

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	0.57	1.58	1.44
	Mn+/- cualquier sección >=	0.79		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6''

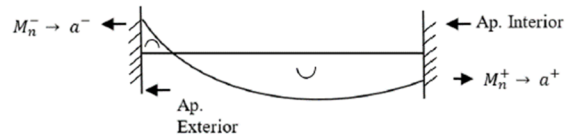
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	4.02	cm
Mpr- =	4.88	Ton*m
a+ =	2.68	cm
Mpr+ =	3.33	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	2.68	cm
Mpr- =	3.33	Ton*m
a+ =	2.68	cm
Mpr+ =	3.33	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D +0.5 L)

qu =	0.25	T/m
Ln =	4.73	m
Vg =	0.60	T

Verificaciones:			
Vu/2 =	1.17	T	Vu/2 > Vg
Ag*f'c/20 =	10.9375	T	Pu < Ag*f'c/20
Vc = 0			

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	1.74	T
------	------	---

Vs =	3.11	T	
<b>Límites:</b>			
2.2(vf'c)*bw*d	25.22	T	OK
1.1(vf'c)*bw*d	12.61	T	OK

Vu =	2.33	T
------	------	---

- Se asume estribos de 10 mm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

# Ramales:	2	
s =	61.54	cm
<b>Límites:</b>		
d/4 =	7.35	cm
8 db (min) =	9.6	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	840	mm
Aoh =	41600	mm2
Vc =	6.08	T
Acp =	87500	mm2
Pcp =	1200	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

0.326 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.20	T*m
Tu =	0.018	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$ (a)

- Diseño de viga VV

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	105	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	300	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	250	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 9187,5			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
20,34 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	750	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	700		

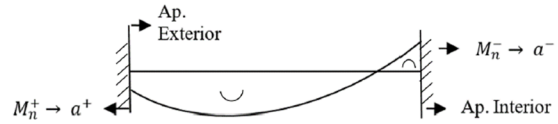
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	2.08	2.11	0.83	18	1	18	2.5	0.14	2.55	0.008	Si cumple	28	30
	Apoyo exterior positivo	2.08	2.11	0.83	18	1	18	2.5	0.14	2.55	0.008	Si cumple	28	30
	Negativo (centro)	2.08	2.11	0.83	18	1	18	2.5	0.14	2.55	0.008	Si cumple	28	30
	Positivo (centro)	2.08	2.11	0.83	18	1	18	2.5	0.14	2.55	0.008	Si cumple	28	30
	Apoyo interior negativo	2.08	2.11	0.83	18	1	18	2.5	0.14	2.55	0.008	Si cumple	28	30
	Apoyo interior positivo	2.08	2.11	0.83	18	1	18	2.5	0.14	2.55	0.008	Si cumple	28	30
Interior	Negativo (centro)	0	0.00	0.00	14	1	14	1.5	0.085	1.60	0.005	Si cumple	22	30
	Positivo (centro)	0	0.00	0.00	18	2	18	5.1	0.281	4.66	0.017	Si cumple	28	30
	Apoyo interior negativo	0	0.00	0.00	18	2	18	5.1	0.281	4.66	0.017	Si cumple	28	30
	Apoyo interior positivo	0	0.00	0.00	18	3	18	7.6	0.421	6.29	0.025	Si cumple	28	30

Limites:	Mn+ cara del nudo >=	1.04	1.04	0.00
	Mn+/- cualquier sección >=	0.52		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6''

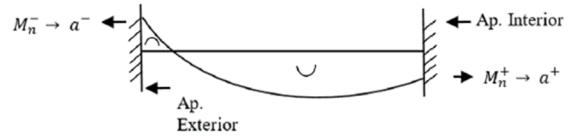
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	7.19	cm
Mpr- =	3.41	Ton*m
a+ =	7.19	cm
Mpr+ =	3.41	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	7.19	cm
Mpr- =	3.41	Ton*m
a+ =	7.19	cm
Mpr+ =	3.41	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.15	T/m
Ln =	5.9	m
Vg =	0.43	T

Verificaciones:				
Vu/2 =	0.79	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*fc/20 =	4.59375	T	Pu < Ag*fc/20	

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	1.16	T
------	------	---

Vs =	2.12	T	
Límites:			
2.2(v'fc)*bw*d	10.59	T	OK
1.1(v'fc)*bw*d	5.30	T	OK

Vu =	1.59	T
------	------	---

- Se asume estribos de 10 mm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

# Ramales:	2	
s =	90.26	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	11.2	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.04	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	550	mm
Aoh =	3900	mm2
Vc =	2.55	T
Acp =	36750	mm2
Pcp =	910	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.522 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.05	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)

- Diseño de viga 1

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0.0001	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	250	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	250	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	250	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0,0001 < 21875			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
20,34 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	750	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	625		

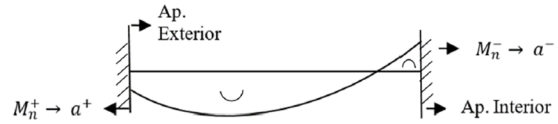
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	1.79	1.81	0.90	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	30
	Apoyo exterior positivo	1.79	1.81	0.90	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	30
	Negativo (centro)	1.79	1.81	0.90	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	30
	Positivo (centro)	1.79	1.81	0.90	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	30
	Apoyo interior negativo	-7.14	-7.24	3.60	16	4	16	8.0	0.186	7.83	0.011	1.13	25	30
Interior	Apoyo interior positivo	3.57	3.62	1.80	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	30
	Negativo (centro)	1.79	1.81	0.90	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	30
	Positivo (centro)	5.92	6.00	2.98	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	30
	Apoyo interior negativo	1.79	1.81	0.90	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	30
	Apoyo interior positivo	1.79	1.81	0.90	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	30

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	0.90	3.57	0.90
	Mn+/- cualquier sección >=	1.79		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6''

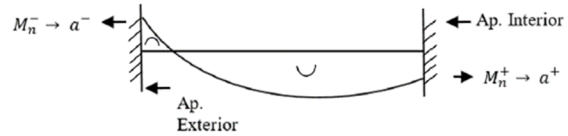
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	9.54	cm
Mpr- =	10.32	Ton*m
a+ =	4.77	cm
Mpr+ =	5.66	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	7.15	cm
Mpr- =	8.11	Ton*m
a+ =	4.77	cm
Mpr+ =	5.66	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.49	T/m
ln =	5.9	m
Vg =	1.44	T

Verificaciones:				
Vu/2 =	2.07	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*fc/20 =	10.9375	T	Pu < Ag*fc/20	

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	2.71	T
------	------	---

Vs =	5.53	T	
Límites:			
2.2(v'fc)*bw*d	25.22	T	OK
1.1(v'fc)*bw*d	12.61	T	OK

Vu =	4.15	T
------	------	---

- Se asume estribos de 10 mm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

# Ramales:	2	
s =	34.58	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	840	mm
Aoh =	41600	mm2
Vc =	6.08	T
Acp =	87500	mm2
Pcp =	1200	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.572 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.20	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)

- Diseño de viga 1'

Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	250	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	350	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	350	mm	Tu =	0.018	Ton*m

Primera verificación		
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia
0 < 21875		
Segunda verificación		
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE
20,34 > 4		
Tercera verificación		
bw > 250 mm	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h		
Cuarta verificación		
bw < 3c2	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1		

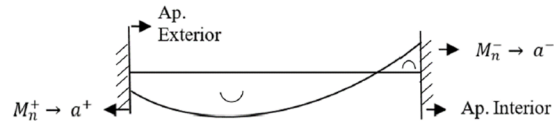
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Reuerzo Calculado		Reuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1'' < s < 6'')	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	-4.15	-4.21	1.65	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Apoyo exterior positivo	2.08	2.11	0.83	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Negativo (centro)	1.41	1.43	0.56	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Positivo (centro)	2.1	2.13	0.84	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Apoyo interior negativo	-5.62	-5.70	2.24	18	3	18	7.6	0.177	7.50	0.011	1.89	28	30
	Apoyo interior positivo	2.81	2.85	1.12	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
Interior	Negativo (centro)	1.41	1.43	0.56	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Positivo (centro)	2.73	2.77	1.09	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Apoyo interior negativo	-4.78	-4.85	1.90	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30
	Apoyo interior positivo	2.39	2.42	0.95	18	2	18	5.1	0.118	5.19	0.007	4.49	28	30

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	2.08	2.81	2.39
	Mn+/- cualquier sección >=	1.41		

<< Establecido por los límites  
 << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6''

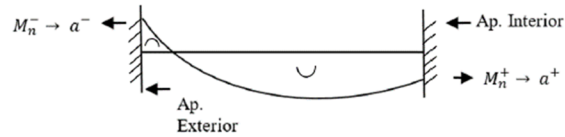
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	9.05	cm
Mpr- =	9.85	Ton*m
a+ =	6.04	cm
Mpr+ =	6.97	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	6.04	cm
Mpr- =	6.97	Ton*m
a+ =	6.04	cm
Mpr+ =	6.97	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.42	T/m
Ln =	5.9	m
Vg =	1.23	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve q =	2.85	T
--------	------	---

Vu =	4.08	T
------	------	---

Verificaciones:				
Vu/2 =	2.04	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*f'c/20 =	10.9375	T	Pu < Ag*f'c/20	

Vs =	5.44	T	
Límites:			
2.2(v'f'c)*bw*d	25.22	T	OK
1.1(v'f'c)*bw*d	12.61	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales:	2	
s =	35.16	cm
Límites:		
d/4 =	7.28	cm
8 db (min) =	14.4	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	840	mm
Aoh =	41600	mm2
Vc =	6.08	T
Acp =	87500	mm2
Pcp =	1200	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.565 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.20	T*m
Tu =	0.018	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)



- Diseño de viga 2

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	300	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	300	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	400	mm	Tu =	0.024	Ton*m

Verificaciones:			
Primera verificación			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 26250			
Segunda verificación			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
20.34 > 4			
Tercera verificación			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
Cuarta verificación			
bw < 3c2	1200	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	850		

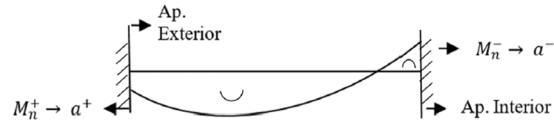
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1" < s < 6")	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	-5.61	-5.69	2.83	16	3	16	6.0	0.116	6.13	0.007	2.99	25	25
	Apoyo exterior positivo	2.81	2.85	1.42	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Negativo (centro)	1.91	1.94	0.96	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Positivo (centro)	3.87	3.92	1.95	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Apoyo interior negativo	-7.64	-7.74	3.85	16	4	16	8.0	0.155	7.99	0.009	1.78	25	25
Interior	Apoyo interior positivo	3.82	3.87	1.93	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Negativo (centro)	1.91	1.94	0.96	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Positivo (centro)	4.1	4.16	2.07	16	3	16	6.0	0.116	6.13	0.007	2.99	25	25
	Apoyo interior negativo	-4.42	-4.48	2.23	16	3	16	6.0	0.116	6.13	0.007	2.99	25	25
	Apoyo interior positivo	2.21	2.24	1.11	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25

Limites:	Mn+ cara del nudo >=	2.81	3.82	2.21
	Mn+/- cualquier sección >=	1.91		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6"

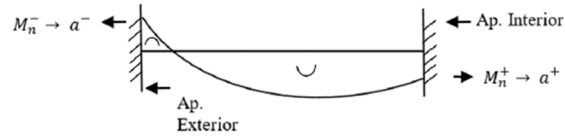
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	7.95	cm
Mpr- =	10.65	Ton*m
a+ =	3.97	cm
Mpr+ =	5.75	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	5.96	cm
Mpr- =	8.30	Ton*m
a+ =	3.97	cm
Mpr+ =	5.75	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.54	T/m
Ln =	5.9	m
Vg =	1.59	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve <sub>q</sub> =	2.78	T
-------------------	------	---

Vu =	4.36	T
------	------	---

Verificaciones:				
Vu/2 =	2.18	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*fc/20 =	13.125	T	Pu < Ag*fc/20	

Vs =	5.82	T	
Límites:			
2.2(v'fc)*bw*d	30.26	T	OK
1.1(v'fc)*bw*d	15.13	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales:	2	
s =	32.88	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Area estribo =	0.785	cm <sup>2</sup>
----------------	-------	-----------------

Av =	1.57	cm <sup>2</sup>
Av min =	0.12	cm <sup>2</sup>

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	940	mm
Aoh =	54600	mm <sup>2</sup>
Vc =	7.29	T
Acp =	105000	mm <sup>2</sup>
Pcp =	1300	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.504 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.26	T*m
Tu =	0.024	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)

- Diseño de viga 2'

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	2.51	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	300	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	300	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	250	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
2,51 < 26250			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
20,34 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	750	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	700		

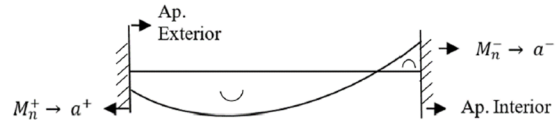
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1" < s < 6")	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	2.24	2.27	1.13	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Apoyo exterior positivo	2.24	2.27	1.13	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Negativo (centro)	2.24	2.27	1.13	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Positivo (centro)	4.96	5.03	2.50	16	3	16	6.0	0.116	6.13	0.007	2.99	25	25
	Apoyo interior negativo	-8.94	-9.06	4.51	16	5	16	10.1	0.194	9.75	0.012	1.18	25	25
Interior	Apoyo interior positivo	4.47	4.53	2.25	16	3	16	6.0	0.116	6.13	0.007	2.99	25	25
	Negativo (centro)	2.24	2.27	1.13	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Positivo (centro)	4.97	5.04	2.51	16	3	16	6.0	0.116	6.13	0.007	2.99	25	25
	Apoyo interior negativo	2.24	2.27	1.13	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25
	Apoyo interior positivo	2.24	2.27	1.13	16	2	16	4.0	0.078	4.22	0.005	6.61	25	25

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	1.12	4.47	1.12
	Mn+/- cualquier sección >=	2.24		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6"

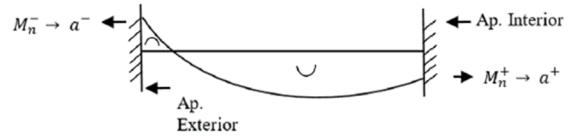
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	9.93	cm
Mpr- =	12.79	Ton*m
a+ =	3.97	cm
Mpr+ =	5.75	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	3.97	cm
Mpr- =	5.75	Ton*m
a+ =	5.96	cm
Mpr+ =	8.30	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.49	T/m
ln =	5.9	m
Vg =	1.44	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve <sub>q</sub> =	3.14	T
-------------------	------	---

Vu =	4.58	T
------	------	---

Verificaciones:				
Vu/2 =	2.29	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*fc/20 =	13.125	T	Pu < Ag*fc/20	

Vs =	6.10	T	
Límites:			
2.2(v'fc)*bw*d	30.26	T	OK
1.1(v'fc)*bw*d	15.13	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales:	2	
s =	31.34	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Area estribo =	0.785	cm <sup>2</sup>
----------------	-------	-----------------

Av =	1.57	cm <sup>2</sup>
Av min =	0.12	cm <sup>2</sup>

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	940	mm
Aoh =	54600	mm <sup>2</sup>
Vc =	7.29	T
Acp =	105000	mm <sup>2</sup>
Pcp =	1300	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.526 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.26	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)

- Diseño de viga 3

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	250	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	300	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	400	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*f'c/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 21875			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
20,34 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	105		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	1200	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	850		

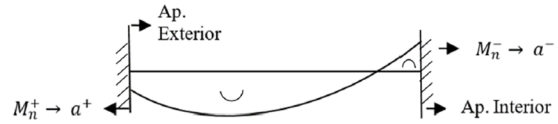
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas (plg) (1" < s < 6")	Ldh (cm)	Ldh escogido (cm)
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	-5.44	-5.51	2.74	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	25
	Apoyo exterior positivo	2.72	2.76	1.37	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Negativo (centro)	1.86	1.89	0.94	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Positivo (centro)	3.5	3.55	1.76	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Apoyo interior negativo	-7.45	-7.55	3.76	16	4	16	8.0	0.186	7.83	0.011	1.13	25	25
Interior	Apoyo interior positivo	3.73	3.78	1.88	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Negativo (centro)	1.86	1.89	0.94	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Positivo (centro)	3.86	3.91	1.95	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	25
	Apoyo interior negativo	-4.37	-4.43	2.20	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	25
	Apoyo interior positivo	2.19	2.22	1.10	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	2.72	3.73	2.19
	Mn+/- cualquier sección >=	1.86		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea menor a 6"

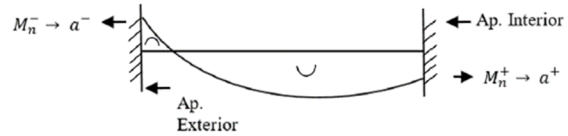
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	9.54	cm
Mpr- =	10.32	Ton*m
a+ =	4.77	cm
Mpr+ =	5.66	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	7.15	cm
Mpr- =	8.11	Ton*m
a+ =	4.77	cm
Mpr+ =	5.66	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D + 0.5 L)

qu =	0.49	T/m
Ln =	5.9	m
Vg =	1.44	T

Verificaciones:				
Vu/2 =	2.07	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*fc/20 =	10.9375	T	Pu < Ag*fc/20	

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	2.71	T
------	------	---

Vs =	5.53	T	
Límites:			
2.2(v'fc)*bw*d	25.22	T	OK
1.1(v'fc)*bw*d	12.61	T	OK

Vu =	4.14	T
------	------	---

- Se asume estribos de 10 mm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

# Ramales:	2	
s =	34.62	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	840	mm
Aoh =	41600	mm2
Vc =	6.08	T
Acp =	87500	mm2
Pcp =	1200	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.572 < 3.10  
OK

**¿ Se desprecia torsión?**

φTth =	0.20	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	$T_{th}$
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ (a)

- Diseño de viga 3'

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm <sup>2</sup>	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm <sup>2</sup>	Ln =	5.9	m
bw =	250	mm	d =	290	mm
H =	350	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	300	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	250	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:		
<b>Primera verificación</b>		
Pu < Ag*f'c/10 0 < 21875	(OK)	Pu se desprecia
<b>Segunda verificación</b>		
Ln/d > 4 20,34 > 4	(OK)	CUMPLE
<b>Tercera verificación</b>		
bw > 250 mm	250	(OK) CUMPLE
bw > 0.3 h	105	
<b>Cuarta verificación</b>		
bw < 3c2	750	(OK) CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	700	

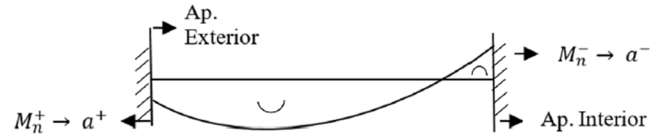
TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm <sup>2</sup> )	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm <sup>2</sup> )	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas	Ldh (cm)	Ldh escogido
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	2.22	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Apoyo exterior positivo	2.22	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Negativo (centro)	2.22	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Positivo (centro)	4.74	4.80	2.39	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	25
	Apoyo interior negativo	-8.87	-8.99	3.53	18	4	18	10.2	0.236	9.61	0.014	1.02	28	25
	Apoyo interior positivo	4.44	4.50	2.24	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	30
Interior	Negativo (centro)	2.22	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Positivo (centro)	4.74	4.80	2.39	16	3	16	6.0	0.14	6.08	0.008	2.01	25	25
	Apoyo interior negativo	2.22	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25
	Apoyo interior positivo	2.22	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.093	4.16	0.006	4.65	25	25

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	1.11	4.44	1.11
	Mn+/- cualquier sección >=	2.22		

  << Establecido por los límites  
  << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea

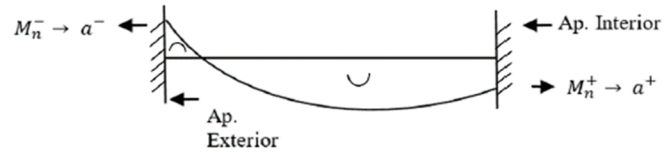
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	12.07	cm
Mpr- =	12.33	Ton*m
a+ =	4.77	cm
Mpr+ =	5.66	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	4.77	cm
Mpr- =	5.66	Ton*m
a+ =	7.15	
Mpr+ =	8.11	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D +0.5 L)

qu =	0.49	T/m
Ln =	5.9	m
Vg =	1.44	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	3.05	T
------	------	---

Vu =	4.49	T
------	------	---

Verificaciones:				
Vu/2 =	2.24	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*f'c/20 =	10.9375	T	Vu < Ag*f'c/20	

Vs =	5.98	T	
Límites:			
2.2(vf'c)*bw*	25.22	T	OK
1.1(vf'c)*bw*	12.61	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales:	2	
s =	31.99	cm
Límites:		
d/4 =	7.3	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	840	mm
Aoh =	41600	mm2
Vc =	6.08	T
Acp =	87500	mm2
Pcp =	1200	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

0.619 < 3.10  
OK

¿ Se desprecia torsión?

φTth =	0.20	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	Tth
Miembros no preesforzados	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$ (a)



- Diseño de viga 4

DISEÑO DE VIGAS					
Datos					
f'c =	250	Kg/cm2	Pu =	0	kg
fy =	4200	Kg/cm2	Ln =	5.9	m
bw =	250	mm	d =	240	mm
H =	300	mm	ρ min =	0.003	
c1 =	350	mm	ρ max =	0.025	
c2 =	350	mm	Tu =	0	Ton*m

Verificaciones:			
<b>Primera verificación</b>			
Pu < Ag*fy/10	(OK)	Pu se desprecia	
0 < 18750			
<b>Segunda verificación</b>			
Ln/d > 4	(OK)	CUMPLE	
24,58 > 4			
<b>Tercera verificación</b>			
bw > 250 mm	250	(OK)	CUMPLE
bw > 0.3 h	90		
<b>Cuarta verificación</b>			
bw < 3c2	1050	(OK)	CUMPLE
bw < c2 + 1.5c1	875		

TRAMO	Localización	Mu (Ton-m)	As, req (cm2)	Refuerzo Calculado		Refuerzo Adoptado		As, disp (cm2)	w	φMn (Ton-m)	ρ	Separación varillas	Ldh (cm)	Ldh escogido
				#var	φvar (mm)	#var	φvar (mm)							
Exterior	Apoyo exterior negativo	-3.68	-4.51	2.24	16	3	16	6.0	0.169	4.93	0.01	2.01	25	30
	Apoyo exterior positivo	1.84	2.25	1.12	16	2	16	4.0	0.113	3.42	0.007	4.65	25	20
	Negativo (centro)	1.08	1.32	0.66	16	2	16	4.0	0.113	3.42	0.007	4.65	25	20
	Positivo (centro)	1.76	2.16	1.07	16	2	16	4.0	0.113	3.42	0.007	4.65	25	20
	Apoyo interior negativo	-4.33	-5.30	2.64	16	4	16	8.0	0.225	6.32	0.013	1.13	25	35
	Apoyo interior positivo	2.17	2.66	1.32	16	2	16	4.0	0.113	3.42	0.007	4.65	25	25
Interior	Negativo (centro)	1.08	1.32	0.66	16	2	16	4.0	0.113	3.42	0.007	4.65	25	20
	Positivo (centro)	1.91	2.34	1.16	16	3	16	6.0	0.169	4.93	0.01	2.01	25	25
	Apoyo interior negativo	-3.6	-4.41	2.19	16	3	16	6.0	0.169	4.93	0.01	2.01	25	30
	Apoyo interior positivo	1.8	2.20	1.10	16	2	16	4.0	0.113	3.42	0.007	4.65	25	20

Límites:	Mn+ cara del nudo >=	1.84	2.17	1.80
	Mn+/- cualquier sección >=	1.08		

   << Establecido por los límites  
   << Estas varillas están en una zona de compresión, por lo que, no es necesario que la separación sea

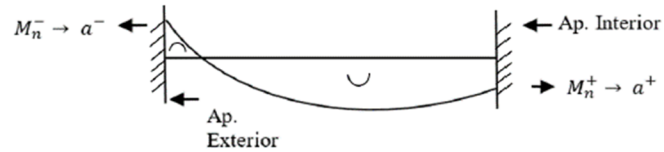
**DISEÑO POR CORTANTE**

a) DMF Combinado; Sismo de izquierda a derecha



a- =	9.54	cm
Mpr- =	8.20	Ton*m
a+ =	4.77	cm
Mpr+ =	4.61	Ton*m

a) DMF Combinado; Sismo de derecha a izquierda



a- =	7.15	cm
Mpr- =	6.53	Ton*m
a+ =	4.77	
Mpr+ =	4.61	Ton*m

**Cálculo de Fuerzas Cortantes de Diseño**

- Cargas Gravitacional (1.2D +0.5 L)

qu =	0.33	T/m
Ln =	5.9	m
Vg =	0.98	T

- Sismo de Izquierda a Derecha

Ve =	2.17	T
------	------	---

Vu =	3.15	T
------	------	---

Verificaciones:				
Vu/2 =	1.58	T	Vu/2 > Vg	Vc = 0
Ag*f'c/20 =	9.375	T	Vu < Ag*f'c/20	

Vs =	4.20	T	
Límites:			
2.2(vf'c)*bw*	20.87	T	OK
1.1(vf'c)*bw*	10.44	T	OK

- Se asume estribos de 10 mm

# Ramales =	2	
s =	37.69	cm
Límites:		
d/4 =	6.1	cm
8 db (min) =	12.8	cm
24*φe =	24	cm
300 mm =	30	cm

Area estribo =	0.785	cm2
----------------	-------	-----

Av =	1.57	cm2
Av min =	0.10	cm2

S escogido =	50	mm
--------------	----	----

**Comprobar Torsión**

Ph =	740	mm
Aoh =	33600	mm2
Vc =	5.03	T
Acp =	75000	mm2
Pcp =	1100	mm

(a) en secciones sólidas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

0.525 < 3.10  
OK

¿ Se desprecia torsión?

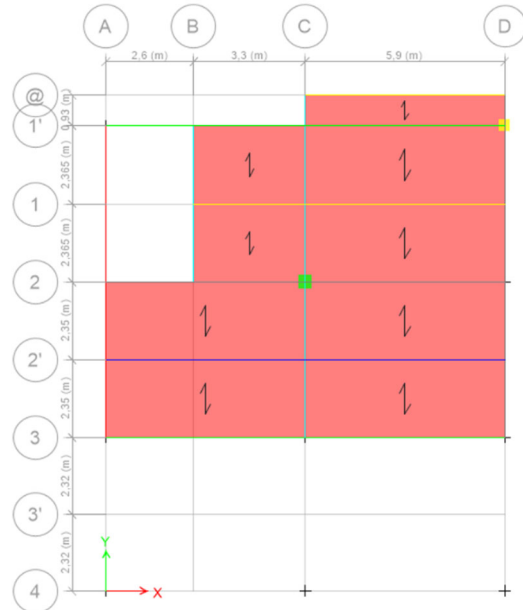
φTth =	0.16	T*m
Tu =	0	T*m

Tu < φTth	Se desprecia torsión
-----------	----------------------

Tipo de miembro	T <sub>th</sub>
Miembros no preesforzados	0.083λ√f'c (A <sub>cp</sub> <sup>2</sup> /P <sub>cp</sub> ) (a)

## Anexo 2.- Diseño de losa

### - Definición de cargas



Modulo de elasticidad					
Formación - canterra	Ea(Gpa)	f'c(Mpa)	Ec		Unidades
Picoaza-Manabí		52.5	25	21.53050811	215305.081 kg/cm2
					215305.081

Ecu Nec			25	23.5	235000 kg/cm2
Ecu Aci			250	238751.9633	238751.96 kg/cm2
Apadtado a nuestro medio					229685.681 kg/cm2

Carga viva	0.7	22	T/m2
carga muerta	0.2		T/m2
carga de cubierta	0.5		T/m2

Sistemas de pisos

losa nervada en una direccion

#### Sistema de porticos resistentes a momentos de concreto reforzado PRM CR

Losa nervada(15cm)			ρ volumetricas	Unidades
Losa de compresion	espesor	0.05	2400	120 kg/m2
nervios	volumen	0.02	2400	48 kg/m2
			wsD	168 kg/m2
			w losa	168 kg/m2

Loads			Peso	Unidades
Instalaciones , enlucidos,etc				40 kg/m2
Piso(ceramica)	espesor	2.5	22	55 kg/m2
Paredes				150 kg/m2
			wsD	413 kg/m2
			WI	200 kg/m2

Losa nervada (15cm)			Peso	unidades
Losa de compresion	espesor	0.05	2400	120 kg/m2
nervios	volumen	0.02	2400	48 kg/m2
			wsD	168 kg/m2
			w losa	168 kg/m2

Loads			Peso	Unidades
Instalaciones , enlucidos,etc				40 kg/m2
Piso(ceramica)	espesor	2.5	22	55 kg/m2
Paredes				150 kg/m2
			wsD	413 kg/m2
			WI	200 kg/m2

Losa nervada (15cm) cubierta			Peso	unidades
Losa de compresion	espesor	0.05	2400	120 kg/m2
nervios	volumen	0.02	2400	48 kg/m2
			wsD	168 kg/m2
			w losa	168 kg/m2

Loads			Peso	Unidades
			WI	70 kg/m2
			WsD	168 kg/m2

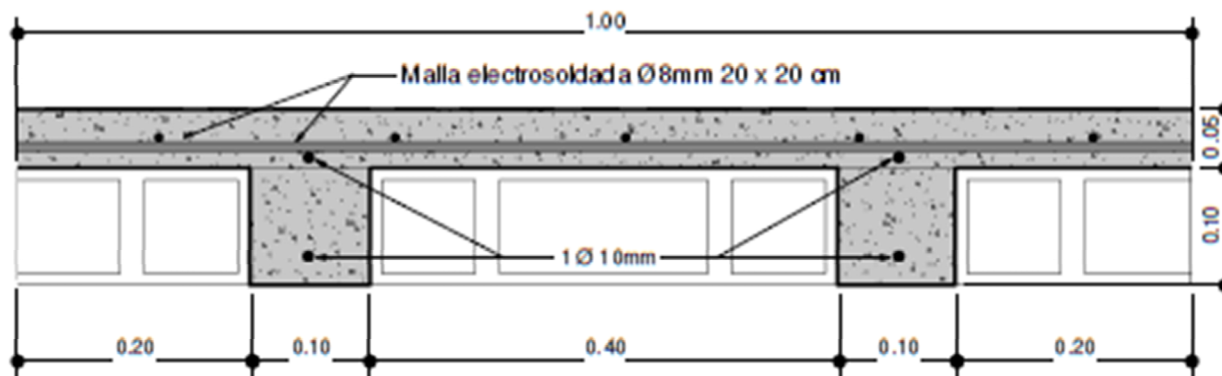
Peso hormigon	unidades
2400	kg/m2
f'c	unidades
250	kg/m2
fy	unidades
4200	kg/m2

- Sección típica de la losa de Planta Baja

Ancho de influencia	500	mm
---------------------	-----	----

ancho	1000	mm
b	100	mm
ancho	1000	mm
relación	0.2	
$\gamma$ hormigón	2400	kg/m <sup>3</sup>
loseta	120	kg/m <sup>2</sup>
nervios	48	kg/m <sup>2</sup>

Carga viva	200	kg/m <sup>2</sup>
------------	-----	-------------------



Sección típica de losa

Carga muerta

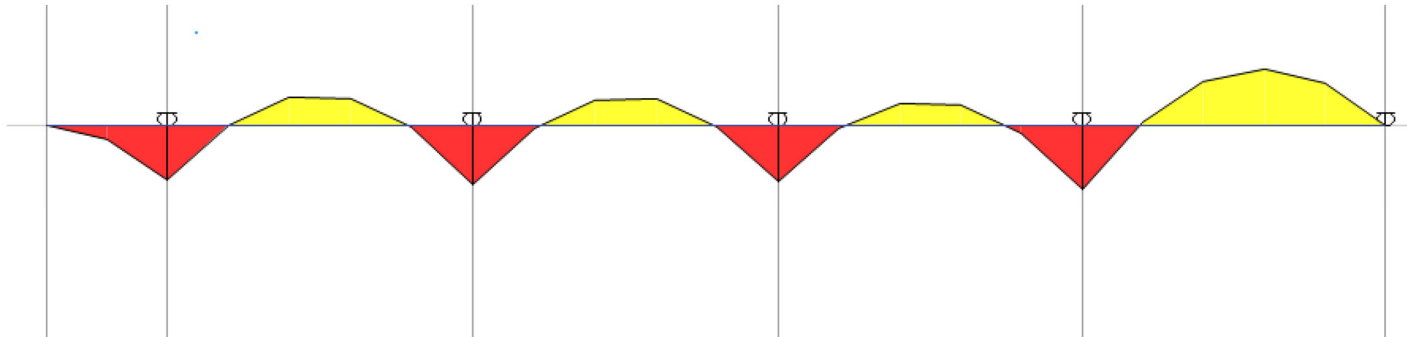
Peso propio	168	kg/m <sup>2</sup>
Paredes	120	kg/m <sup>2</sup>
Instalaciones	40	kg/m <sup>2</sup>
Sobre piso	80	kg/m <sup>2</sup>
WD	408	kg/m <sup>2</sup>

Wu	809.6	kg/m <sup>2</sup>
Wu	404.8	kg/m <sup>2</sup>

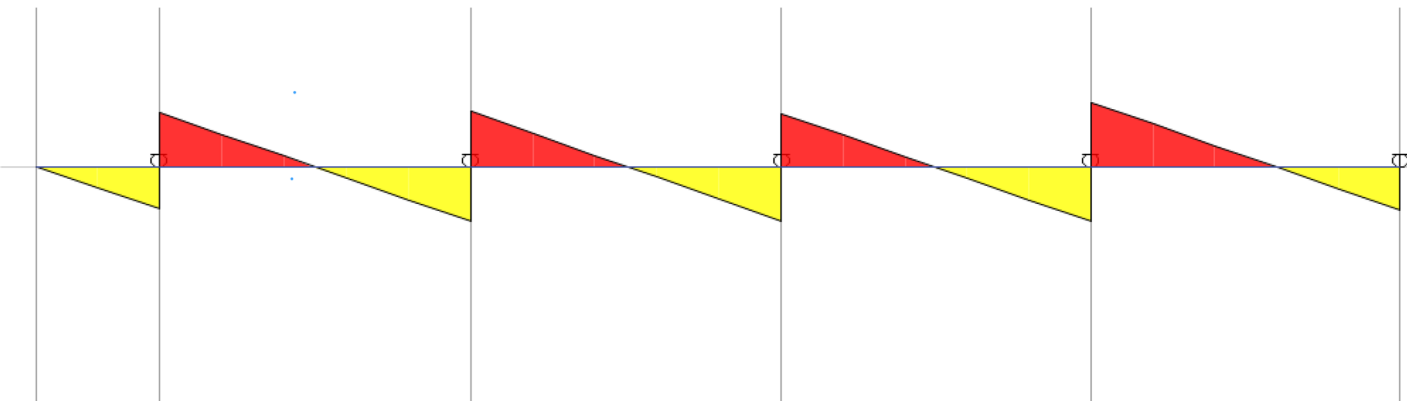
Para un solo nervio

$\beta 1$	0.85	
$f_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
Es	2100000	kg/cm <sup>2</sup>
$f'c$	250	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho b$	0.0258	
$\rho_{max}$	0.0194	
$\rho_{min}$	0.00301	
$\Phi_{vmin}$	10	mm
rec	2	cm
d	12.5	cm
$A\Phi_v$	0.79	cm <sup>2</sup>
Asmin	0.3765	cm <sup>2</sup>

- Demandas de momento y cortante para el diseño de losa de Planta Baja



Mu	175.06	161.72	226.41	141.51	226.41	139.72	223.55	159.68	0	kg.m
----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---	------



Vu	478.68	0	550.48	0	546.99	0	475.64	0	475.64	kg
	376.46		550.48		550.48		475.64			

- **Diseño Final para losa de Planta Baja**

<b>M-(kg.m)</b>	175.06	-	226.41	-	226.41	-	223.55	-	0
<b>M+(kg.m)</b>	-	161.72	-	141.51	-	139.72	-	159.68	-
<b>As-(cm<sup>2</sup>)</b>	0.412	-	0.532	-	0.532	-	0.526	-	0.3765
<b>As+(cm<sup>2</sup>)</b>	-	0.380	-	0.333	-	0.329	-	0.375	-
<b>ϕ-(mm)</b>	1	-	1	-	1	-	1	-	1
<b>ϕ+(mm)</b>	-	1	-	1	-	1	-	1	-
<b>Vu(kg)</b>	478.68	0	550.48	0	550.48	0	475.64	0	475.64
<b>ϕVc(kg)</b>	785.63		785.63		785.63		785.63		785.63

Según 9.8.1.5  $\phi V_c$  864.19 kg (ACI)

Entonces

<b><math>\phi 0,5V_c</math></b>	432.10 kg	
<b>Vu</b>	550.48 kg	ok

Comprobar acero de retracción y temperatura

<b><math>\rho_{min}</math></b>	0.0018	
<b><math>\rho_{min}</math></b>	0.0014	
<b><u>min</u></b>	0.0018	
<b>Ast</b>	0.9	cm <sup>2</sup>

Asumir  $\phi = 8\text{mm}$

<b><math>A_v \phi 8\text{mm}</math></b>	0.50	cm <sup>2</sup>
<b>s</b>	0.559	m

- Sección típica para la losa de planta Alta

Ancho de influencia	500	mm
---------------------	-----	----

ancho	1000	mm
b	100	mm
ancho	1000	mm
relación	0.2	
$\gamma$ hormigón	2400	kg/m <sup>3</sup>
loseta	120	kg/m <sup>2</sup>
nervios	48	kg/m <sup>2</sup>

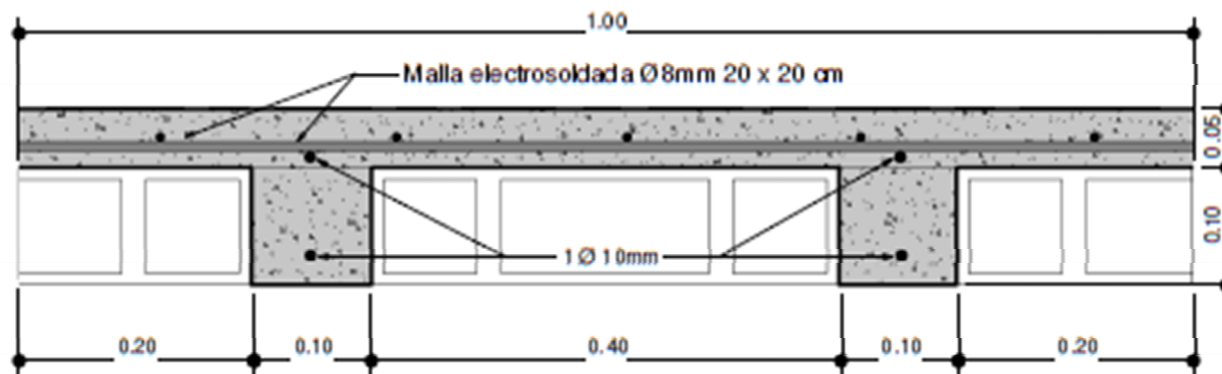
Carga viva	200	kg/m <sup>2</sup>
------------	-----	-------------------

Carga muerta

Peso propio	168	kg/m <sup>2</sup>
Paredes	120	kg/m <sup>2</sup>
Instalaciones	40	kg/m <sup>2</sup>
Sobre piso	80	kg/m <sup>2</sup>
WD	408	kg/m <sup>2</sup>

Wu	809.6	kg/m <sup>2</sup>
Wu	404.8	kg/m <sup>2</sup>

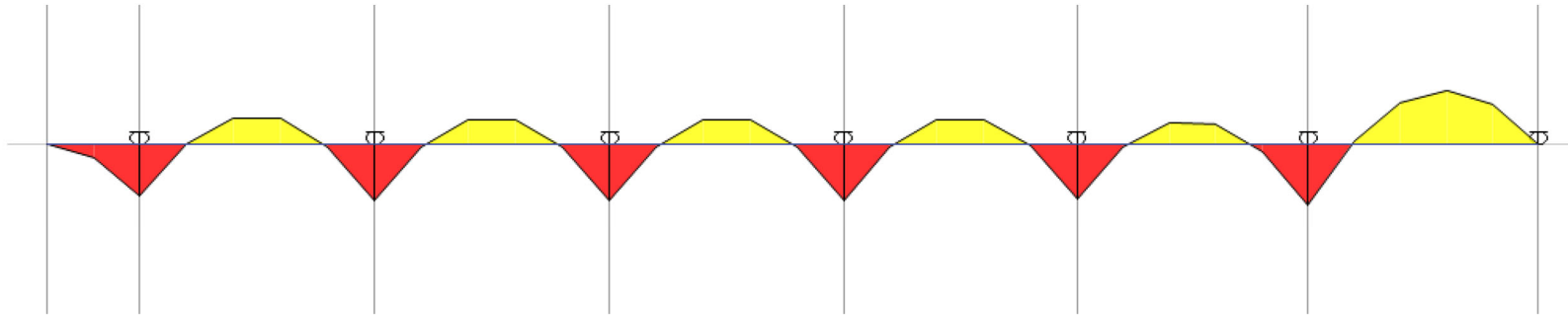
Para un solo nervio



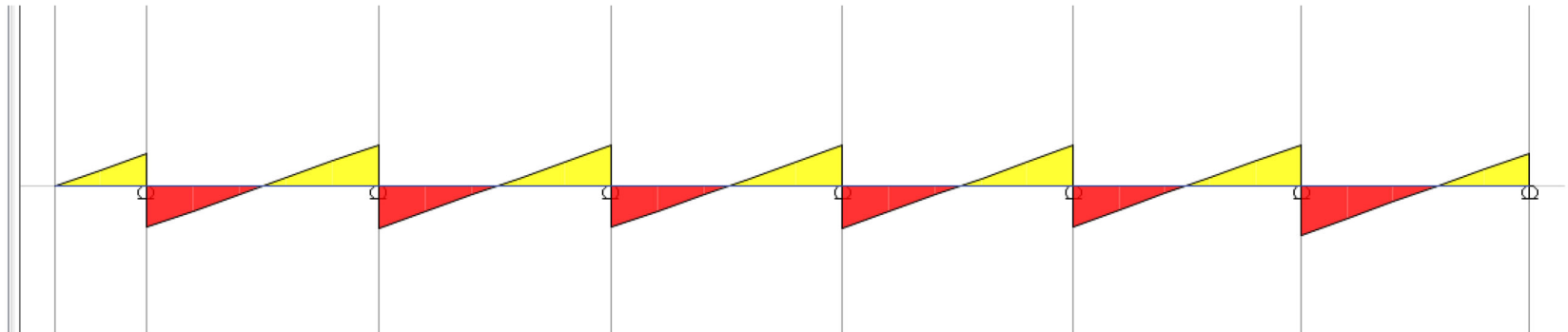
Sección típica de losa

$\beta 1$	0.85	
$f_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$	2100000	kg/cm <sup>2</sup>
$f'c$	250	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho_b$	0.0258	
$\rho_{max}$	0.0194	
$\rho_{min}$	0.00301	
$\Phi_{vmin}$	10	mm
rec	2	cm
d	12.5	cm
$A_{\Phi v}$	0.79	cm <sup>2</sup>
$A_{smin}$	0.3765	cm <sup>2</sup>

- Demandas de momento y cortante para la losa de la Planta Alta



Mu	175.06	161.72	226.41	141.51	226.41	139.72	223.55	159.68	223.55	157.65	155.63	155.63	0	kg.m
----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---	------



Vu	478.68	0	550.48	0	546.99	0	546.99	0	543.49	0	472.60	0	469.57
	376.46		550.48		546.98		546.98		543.49		472.60		



- **Diseño Final de la losa de la Planta Alta**

<b>M-(kg.m)</b>	175.06	-	226.41	-	226.41	-	223.55	-	223.55	-	155.63	-	0
<b>M+(kg.m)</b>	-	161.72	-	141.51	-	139.72	-	159.68	-	157.65	-	155.63	-
<b>As-(cm<sup>2</sup>)</b>	0.412	-	0.532	-	0.532	-	0.526	-	0.526	-	0.366	-	0.3765
<b>As+(cm<sup>2</sup>)</b>	-	0.380	-	0.333	-	0.329	-	0.375	-	0.371	-	0.366	-
<b>φ-(mm)</b>	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
<b>φ+(mm)</b>	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
<b>Vu(kg)</b>	478.68	0	550.48	0	550.48	0	546.99	0	543.49	0	472.60	0	469.57
<b>φ Vc(kg)</b>	785.63		785.63		785.63		785.63		785.63		785.63		785.63

Según 9.8.1.5 **φ Vc** 864.19 kg (ACI)

Entonces

<b>φ 0,5Vc</b>	432.10 kg
<b>Vu</b>	550.48 kg

ok

Comprobar acero de retracción y temperatura

<b>ρ<sub>min</sub></b>	0.0018
<b>ρ<sub>min</sub></b>	0.0014
<b>ρ<sub>min</sub></b>	0.0018
<b>A<sub>st</sub></b>	0.9 cm <sup>2</sup>

Asumir φ= 8mm

<b>A<sub>vφ8mm</sub></b>	0.50 cm <sup>2</sup>
<b>s</b>	0.559 m

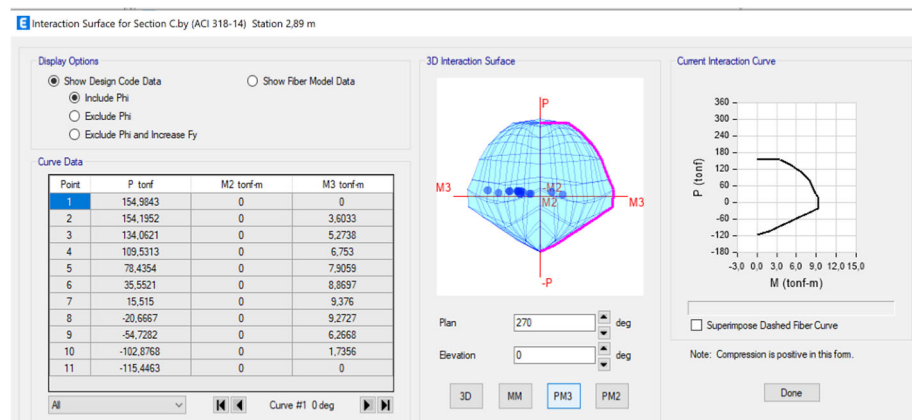
Usar malla 8 mm c/20

### Anexo 3.- Diseño de Columnas

#### - Diseño de Columna C1

#### Información obtenida del modelo estructural en ETABS

TABLE: Element Forces - Columns												
Story	Column	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
						m	tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Story2	C4	15	Comb1	Combination		0	-10.7345	1.2291	-0.0182	0.0044	0.0257	1.2526
Story2	C4	15	Comb2	Combination		0	-12.9983	1.5892	-0.0246	0.0059	0.0311	1.6181
Story2	C4	15	Comb3	Combination		0	-11.5842	1.3949	-0.0211	0.0051	0.0279	1.4207
Story2	C4	15	Comb4	Combination	Min	0	-12.4185	-0.298	-0.2627	-0.025	-0.3923	-1.7274
Story2	C4	15	Comb5	Combination	Min	0	-12.4185	-0.298	-0.2627	-0.025	-0.3923	-1.7274
Story2	C4	15	Comb6	Combination	Min	0	-12.4185	-0.298	-0.2627	-0.025	-0.3923	-1.7274
Story2	C4	15	Comb7	Combination	Min	0	-12.4185	-0.298	-0.2627	-0.025	-0.3923	-1.7274
Story2	C4	15	Comb8	Combination	Min	0	-7.7474	-0.8945	-0.2531	-0.0273	-0.4034	-2.3344
Story2	C4	15	Comb9	Combination	Min	0	-7.7474	-0.8945	-0.2531	-0.0273	-0.4034	-2.3344
Story2	C4	15	Comb10	Combination	Min	0	-7.7474	-0.8945	-0.2531	-0.0273	-0.4034	-2.3344
Story2	C4	15	Comb11	Combination	Min	0	-7.7474	-0.8945	-0.2531	-0.0273	-0.4034	-2.3344
Story2	C4	15	Envolvente	Combination	Min	0	-12.9983	-0.8945	-0.2627	-0.0273	-0.4034	-2.3344



## Cálculo del refuerzo longitudinal

### Diseño de Columnas

Columna interior	Sentido:	E - O
------------------	----------	-------

f'c	250	kg/cm2
fy	4200	kg/cm2
Ag	900	cm2
	90000	mm2
	139.5	pulg2

Piso	1	
Ubicación	1'-C	
Dimensiones	30	cm
	30	cm
VD	25	base

Combinaciones de carga (NEC 2015)		Pu (ton)	M3-3	M2-2	Mu
Comb1		-10.7345	1.2526	0.0257	1.25286362
Comb2		-12.9983	1.6181	0.0311	1.61839884
Comb3		-11.5842	1.4207	0.0279	1.42097393
Comb4		-12.4185	-1.7274	-0.3923	1.77138648
Comb5		-12.4185	-1.7274	-0.3923	1.77138648
Comb6		-12.4185	-1.7274	-0.3923	1.77138648
Comb7		-12.4185	-1.7274	-0.3923	1.77138648
Comb8		-7.7474	-2.3344	-0.4034	2.36899872
Comb9		-7.7474	-2.3344	-0.4034	2.36899872
Comb10		-7.7474	-2.3344	-0.4034	2.36899872
Comb11		-7.7474	-2.3344	-0.4034	2.36899872
Envolvente		-12.9983	-2.3344	-0.4034	2.36899872

Carga superior de columna	9.3	ton	91.23	kN
Carga inferior	12.9983	ton	127.51	Kn

Pu,máx	12.9983	ton	<----	Controla
--------	---------	-----	-------	----------

Pu	>	Ag*f'c/10
12.9983	>	22.50

Esta disposición no está en el ACI

#### Paso 1 Revisar dimensiones de secciones

Dimesion menor de la seccion	>	30	cm
30	>	30	cm

Cumple

Dimesion menor de la sección	>	0.4
1	>	0.4

Cumple

#### Paso 2 Determinar el refuerzo longitudinal requerido

∅	0.75	
h	30	cm
e	0.136	m
eteo=0.05 h	1.500	m
eteo=1pulg	0.254	m
eteomax	1.500	m
e	<	teo
0.14	<	1.500

Columna corta

Pn	17.33	ton
kn	0.077	
Rn	0.03499	
∅v	22	mm
∅e	12	mm
rec	4	cm
d	23.7	cm
d'	6.3	cm
γ	0.58	

∅ varilla longitudinal	22
------------------------	----

cuantia asumida	2.59%
-----------------	-------

A var long	380.132711	mm2
------------	------------	-----

Ast	2331.00	mm2
	23.31	cm2

#Var long	6.13206896
	8
d int	17.8

Separación perimetral libre de refuerzo longitudinal

S	4.79	cm
---	------	----

### Criterio Columna Fuerte-Viga Débil

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb}$$

Capacidad a flexion de las columnas  $\geq$  6/5 de la capacidad a flexion de las vigas

espesor de los	15	cm
----------------	----	----

beff	1.7	m
	5.9	m
	1.18	m

espesor de losa = 0.18 m; bw (ancho de viga)= 0.3 m  
5,9 m(en el sentido que se analiza) y 4,7 m son las  
luce en N-S y E-O

Controla 1.18 m

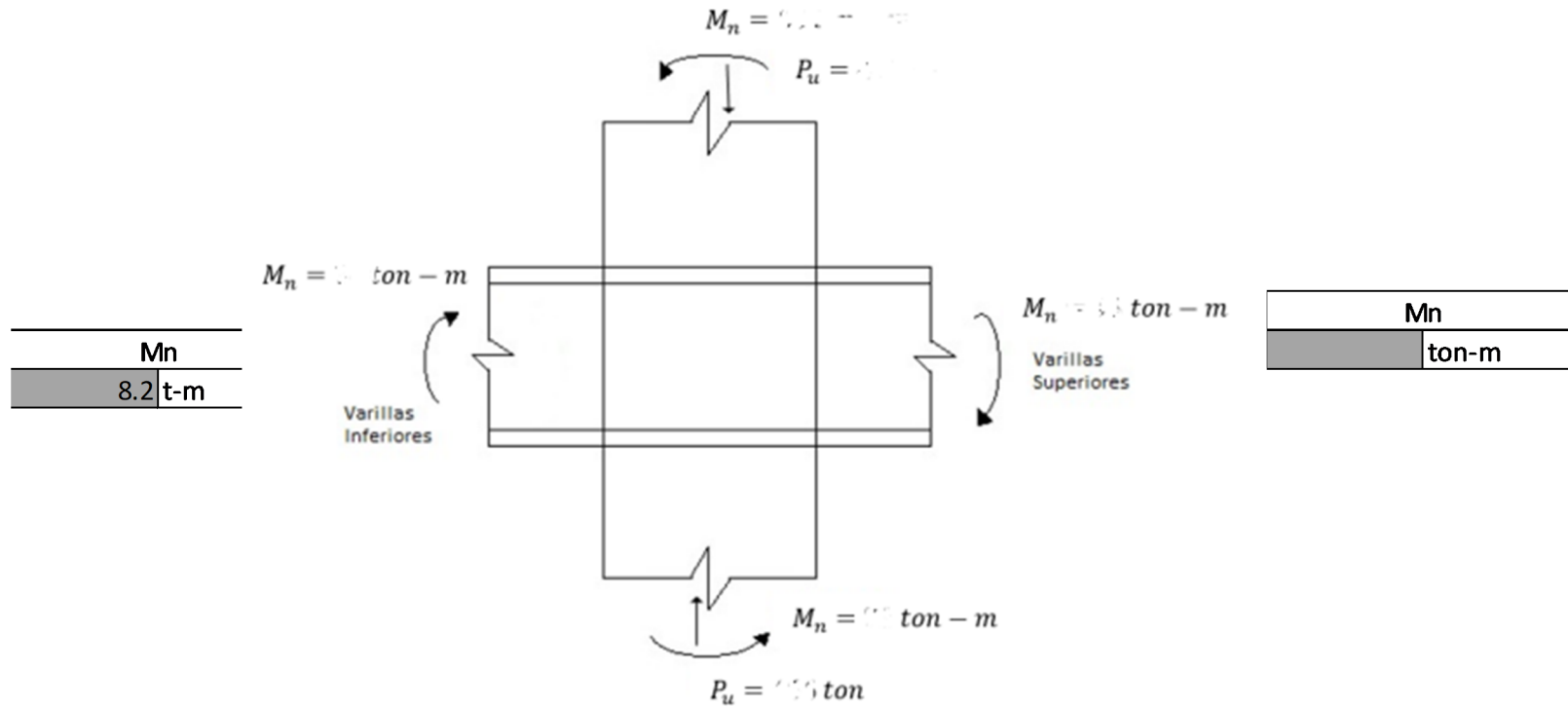
Asmin	3.1725	cm <sup>2</sup>
Area $\phi$ 12	1.13	cm <sup>2</sup>

3

Separacion	60.60	----->	<a href="#"><math>\phi</math>12@55cm</a>	Superior e inferior
------------	-------	--------	--	---------------------

Comprobación	
55 <	60 CUMPLE

Pu	0	ton
Mn	0	ton-m



Pu	-5.49	ton-m
Mn	9.98	ton-m

$\Sigma M_{nc}$	9.98	ton-m
$\Sigma M_{nb}$	8.2	ton-m

$\Sigma M_{nc}$	>	$(6/5)\Sigma M_{nb}$
9.98	>	9.84

o.k.

beff	79.2	←----
	138	
	335	

Controla el menor 30 ancho de vig:  
 4,7es la luz en la dirección N - S  
 5,9es la luz en la dirección E - O

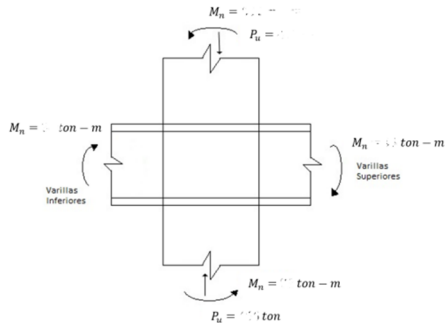
As, min	2.565	cm2
Area ø 12	1.13	cm2

2

Separación	34.91	----->	ø12@35cm	Superior e inferior
------------	-------	--------	----------	---------------------

Comprobación		
35 <	36	CUMPLE

Pu	0	ton
Mn	0	ton-m



Mn (Ton-m)
4.88

Mn (Ton-m)
3.33

Pu	-5.49	ton-m
Mn	9.98	ton-m

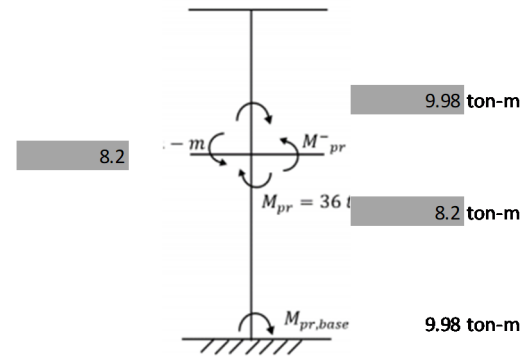
$\Sigma M_{nc}$	9.98	ton-m
$\Sigma M_{nb}$	8.21	ton-m

$\Sigma M_{nc}$	>	$(6/5)\Sigma M_{nb}$
9.98	>	9.852

o.k.

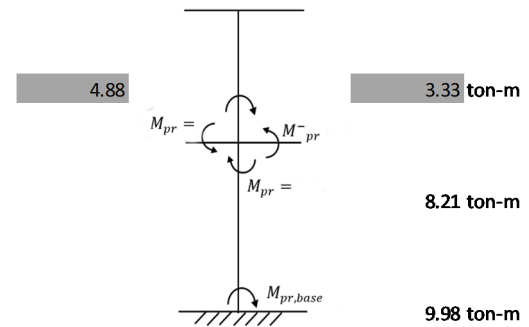
Dirección E-O

Mpr viga 1	0	ton-m
Mpr viga 2	8.2	ton-m
Mpr z. abajo	8.20	ton
Vu	-196.33	ton
Mpr base	9.98	ton-m



Dirección N-S

Mpr viga1	4.88	ton-m
Mpr viga2	3.33	ton-m
Mpr z. abajo	8.21	ton
Vu	-196.44	ton
Mpr base	9.98	ton-m

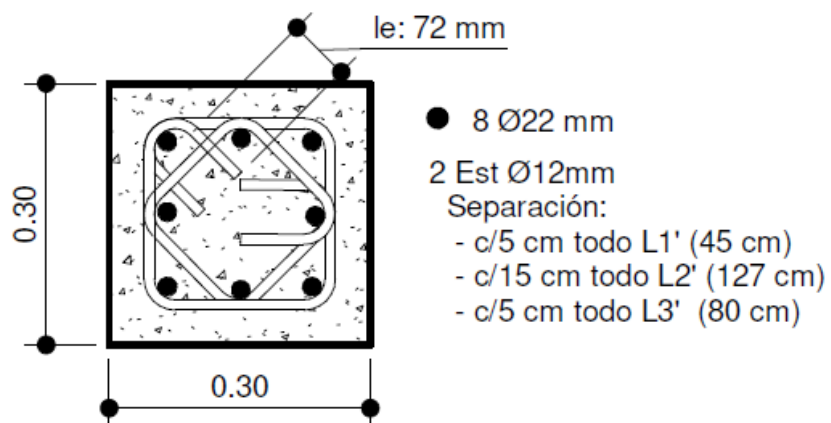


Pu	>	$Ag*f'c/20$
22.1913	>	15.31

Cumple

### Diseño Final y longitud de traslape

b o h	30	cm	
d efec	24	cm	
Nu	12.9983	ton	carga axial
Vc	6.66	ton	
A $\Phi$ e 12	1.13	cm <sup>2</sup>	
# ramales	3	u	
S estribos	10.00	cm	
Vs	34.2	ton	
$\phi(Vc+Vs)$	30.64	ton	
lo estribo	30	cm	
$\phi(Vc+Vs)$	>	Vu	
30.64	>	-196.33	Cumple



Sección Columna C1

9

1 : 10

### - Cálculo de la longitud de traslape

cb	6.3	cm	
	4.35	cm	---->Gobierna el menor

$\beta$	1
$\alpha$	1
$\lambda$	1
$\gamma$	1

ktr	4.52
-----	------

$(c+ktr)/db$	3.55	>	2.5	--->	se usa 2.5 cm
--------------	------	---	-----	------	---------------

ld	76	cm
----	----	----

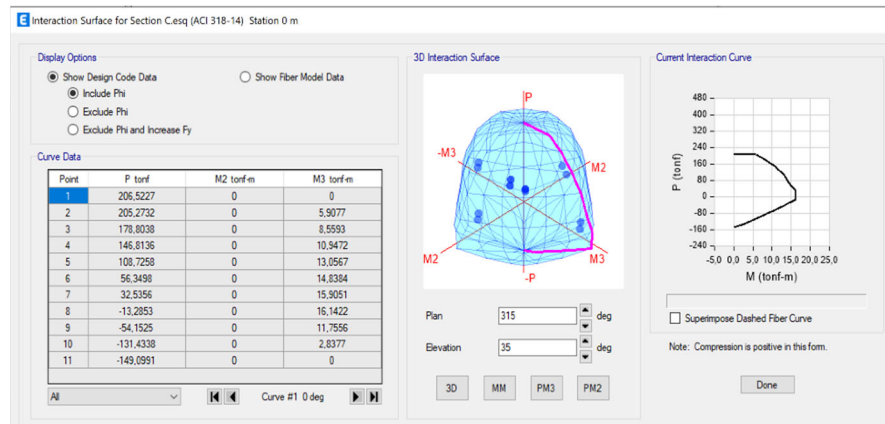
Traslape Clase B

Longitud	99	cm	--->	100	cm
----------	----	----	------	-----	----

- Diseño de Columna C2

Información obtenida del modelo estructural en ETABS

TABLE: Element Forces - Columns												
Story	Column	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
						m	tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Story2	C5	11	Comb1	Combination		0	-19.1574	-0.5407	0.9479	0.0087	1.0569	-0.7145
Story2	C5	11	Comb2	Combination		0	-22.1913	-0.7327	1.2256	0.0114	1.3589	-0.9642
Story2	C5	11	Comb3	Combination		0	-20.6281	-0.6526	1.0497	0.01	1.1668	-0.8551
Story2	C5	11	Comb4	Combination	Min	0	-20.5342	-3.3107	1.044	0.0025	1.1526	-6.0734
Story2	C5	11	Comb5	Combination	Min	0	-20.5342	-3.3107	1.044	0.0025	1.1526	-6.0734
Story2	C5	11	Comb6	Combination	Min	0	-20.5342	-3.3107	1.044	0.0025	1.1526	-6.0734
Story2	C5	11	Comb7	Combination	Min	0	-20.5342	-3.3107	1.044	0.0025	1.1526	-6.0734
Story2	C5	11	Comb8	Combination	Min	0	-12.9681	-3.0316	0.5776	-0.0018	0.6376	-5.7059
Story2	C5	11	Comb9	Combination	Min	0	-12.9681	-3.0316	0.5776	-0.0018	0.6376	-5.7059
Story2	C5	11	Comb10	Combination	Min	0	-12.9681	-3.0316	0.5776	-0.0018	0.6376	-5.7059
Story2	C5	11	Comb11	Combination	Min	0	-12.9681	-3.0316	0.5776	-0.0018	0.6376	-5.7059
Story2	C5	11	Envolvente	Combination	Min	0	-22.1913	-3.3107	0.5776	-0.0018	0.6376	-6.0734





## Cálculo del refuerzo longitudinal

### Diseño de Columnas

Columna interior	Sentido:	E - O
------------------	----------	-------

f'c	250	kg/cm2
fy	4200	kg/cm2
Ag	1225	cm2
	122500	mm2
	189.875	pulg2

Piso	1	
Ubicación	1'-C	
Dimensiones	35	cm
	35	cm

Combinaciones de carga (NEC 2015)	Pu (ton)	M3-3	M2-2	Mu
		M3-3	M2-2	
Comb1	-19.1574	-0.7145	1.0569	1.27575384
Comb2	-22.1913	-0.9642	1.3589	1.66622053
Comb3	-20.6281	-0.8551	1.1668	1.44658849
Comb4	-20.5342	-6.0734	1.1526	6.18180187
Comb5	-20.5342	-6.0734	1.1526	6.18180187
Comb6	-20.5342	-6.0734	1.1526	6.18180187
Comb7	-20.5342	-6.0734	1.1526	6.18180187
Comb8	-12.9681	-5.7059	0.6376	5.74141346
Comb9	-12.9681	-5.7059	0.6376	5.74141346
Comb10	-12.9681	-5.7059	0.6376	5.74141346
Comb11	-12.9681	-5.7059	0.6376	5.74141346
Envolvente	-22.1913	-6.0734	0.6376	6.10677667

Carga superior de columna	17.79	ton	174.52	kN
Carga inferior	22.1913	ton	217.70	Kn

Pu,máx	22.1913	ton	<----	Controla
--------	---------	-----	-------	----------

Pu	>	Ag*f'c/10
22.1913	>	30.63

Esta disposición no está en el ACI

#### Paso 1 Revisar dimensiones de secciones

Dimesion menor de la seccion	>	30	cm	
35	>	30	cm	Cumple

Dimesion menor de la sección	>	0.4
1	>	0.4

#### Paso 2 Determinar el refuerzo longitudinal requerido

∅	0.75	
h	35	cm
e	0.279	m
eteo=0.05 h	1.750	m
eteo=1pulg	0.254	m
eteomax	1.750	m
e	<	teo
0.28	<	1.750

Columna corta

Pn	29.59	ton
kn	0.097	
Rn	0.07690	
∅v	25	mm
∅e	12	mm
rec	4	cm
d	28.55	cm
d'	6.45	cm
γ	0.63	

cuantia asumida	2.45%
-----------------	-------

Ast	3001.25	mm2
	30.0125	cm2

Separación perimetral libre de refuerzo longitudinal

S	6.34	cm
---	------	----

∅ varilla longitudinal	25
------------------------	----

A var long	490.873852	mm2
------------	------------	-----

#Var long	6.11409629
	8
d int	22.5

**Criterio Columna Fuerte-Viga Débil**

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb}$$

Capacidad a flexion de las columnas >= 6/5 de la capacidad a flexion de las vigas

espesor de los	15	cm
----------------	----	----

beff	1.7	m
	5.9	m
	1.18	m

espesor de losa = 0.18 m; bw (ancho de viga) = 0.25 n <---- Controla  
5,9 m(en el sentido que se analiza) y 4,7 m son las luce en N-S y E-O

Controla 1.175 m

Asmin	3.1725	cm2
Area ø 12	1.13	cm2

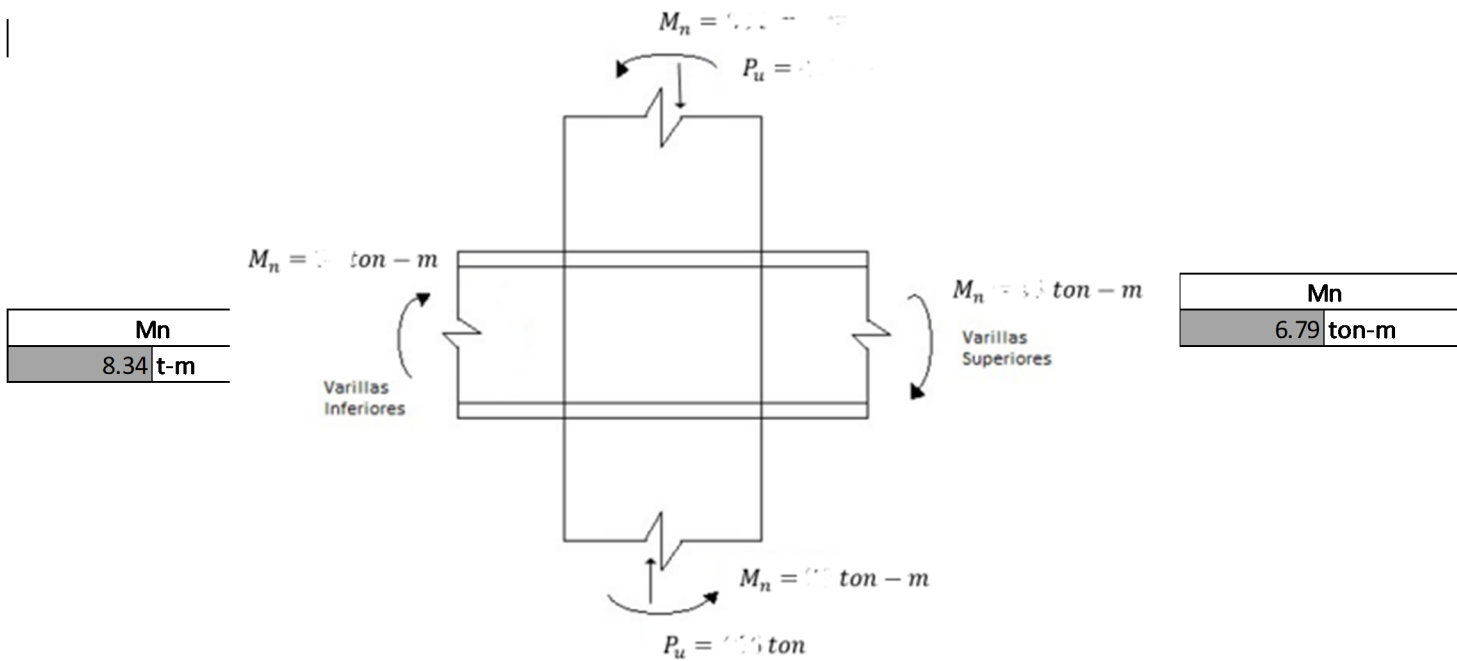
Donde b= 170 cm h= 15 cm

3

Separacion	60.60	----->	<a href="#">ø12@25cm</a>	Superior e inferior
------------	-------	--------	--------------------------	---------------------

Comprobación	
65 <	70 CUMPLE

Pu	-1.82	ton
Mn	16	ton-m



Pu	-20.71	ton-m
Mn	14	ton-m

$\Sigma M_{nc}$	30	ton-m
$\Sigma M_{nb}$	15.13	ton-m

$\Sigma M_{nc}$	>	$(6/5)\Sigma M_{nb}$
30	>	18.156

beff	89.2	←-----
	138	
	275	

Controla el menor  
5,9es la luz en la dirección N - S  
4,7 es la luz en la dirección E - O

30 ancho de viga

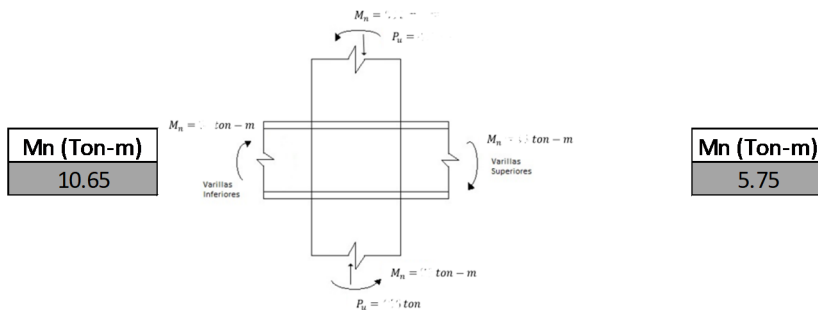
As, min	2.889	cm2
Area $\phi$ 12	1.13	cm2

3

Separación	34.91	----->	$\phi$ 12@35cm	Superior e inferior
------------	-------	--------	----------------	---------------------

Comprobación		
35 <		70 CUMPLE

Pu	-1.82	ton
Mn	16	ton-m



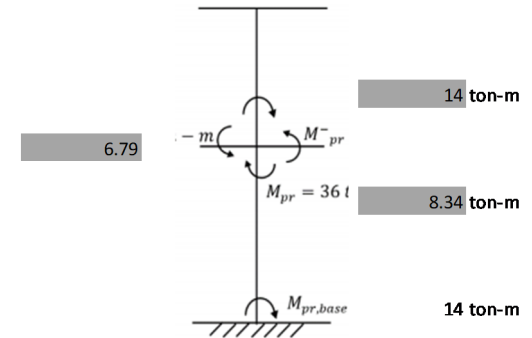
Pu	-20.71	ton-m
Mn	14	ton-m

$\Sigma$ Mnc	30	ton-m
$\Sigma$ Mnb	16.4	ton-m

$\Sigma$ Mnc	>	(6/5) $\Sigma$ Mnb	
30	>	19.68	o.k.

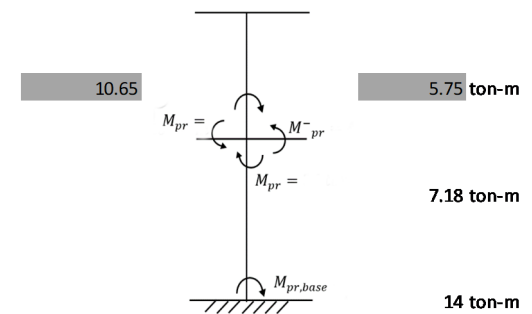
Dirección E-O

Mpr viga 1	6.79 ton-m
Mpr viga 2	8.34 ton-m
Mpr z. abajo	6.62 ton
Vu	8.79 ton
Mpr base	14 ton-m



Dirección N-S

Mpr viga1	10.65 ton-m
Mpr viga2	5.75 ton-m
Mpr z. abajo	7.18 ton
Vu	9.03 ton
Mpr base	14 ton-m



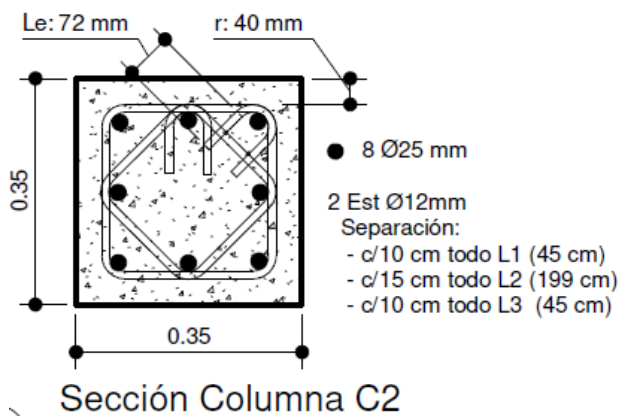
Pu	>	Ag*f'c/20	
22.1913	>	15.31	Cumple

## Diseño Final y longitud de traslape

b o h	35	cm	
d efec	28	cm	
Nu	22.1913	ton	carga axial
Vc	9.28	ton	
A $\Phi$ e 12	1.13	cm <sup>2</sup>	
# ramales	3	u	
S estribos	10.00	cm	
Vs	39.9	ton	
$\phi(Vc+Vs)$	36.88	ton	
lo estribo	35	cm	
$\phi(Vc+Vs)$	>	Vu	
36.88	>	8.79	Cumple

cb	6.45	cm	
	5.53	cm	---->Gobierna el menor

$\beta$	1
$\alpha$	1
$\lambda$	1
$\gamma$	1



ktr	4.52
-----	------

$(c+ktr)/db$	4.02	>	2.5	--->	se usa 2.5 cm
--------------	------	---	-----	------	---------------

ld	76	cm
----	----	----

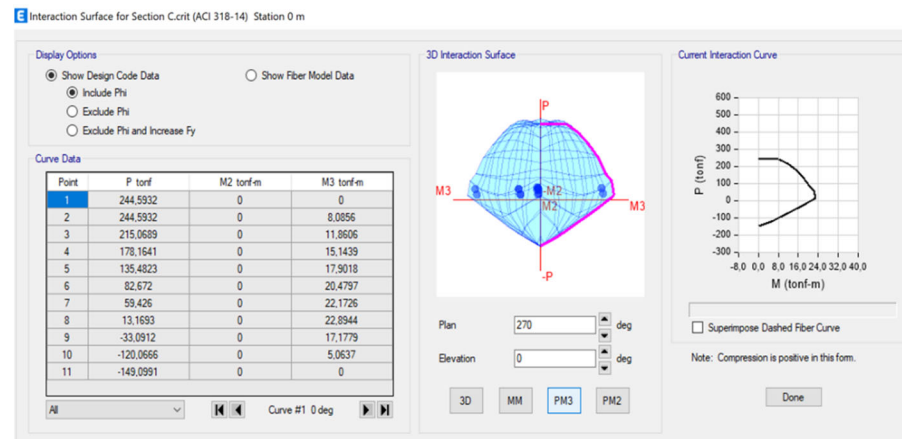
Traslape Clase B

Longitud	99	cm	--->	100	cm
----------	----	----	------	-----	----

- **Diseño de Columna C2**

**Información obtenida del modelo estructural en ETABS**

TABLE: Element Forces - Columns												
Story	Column	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
Story2	C12	18	Comb1	Combination		0	-31.0146	-0.5062	0.1073	0.014	0.1837	-0.6617
Story2	C12	18	Comb2	Combination		0	-37.6027	-0.6251	0.1535	0.0187	0.2466	-0.8268
Story2	C12	18	Comb3	Combination		0	-34.7246	-0.6176	0.1232	0.0162	0.2055	-0.7978
Story2	C12	18	Comb4	Combination	Min	0	-33.7286	-4.2265	-0.0501	-0.0792	-0.144	-8.5464
Story2	C12	18	Comb5	Combination	Min	0	-33.7286	-4.2265	-0.0501	-0.0792	-0.144	-8.5464
Story2	C12	18	Comb6	Combination	Min	0	-33.7286	-4.2265	-0.0501	-0.0792	-0.144	-8.5464
Story2	C12	18	Comb7	Combination	Min	0	-33.7286	-4.2265	-0.0501	-0.0792	-0.144	-8.5464
Story2	C12	18	Comb8	Combination	Min	0	-20.5003	-4.0141	-0.1134	-0.0863	-0.2409	-8.2589
Story2	C12	18	Comb9	Combination	Min	0	-20.5003	-4.0141	-0.1134	-0.0863	-0.2409	-8.2589
Story2	C12	18	Comb10	Combination	Min	0	-20.5003	-4.0141	-0.1134	-0.0863	-0.2409	-8.2589
Story2	C12	18	Comb11	Combination	Min	0	-20.5003	-4.0141	-0.1134	-0.0863	-0.2409	-8.2589
Story2	C12	18	Envolvente	Combination	Min	0	-37.6027	-4.2265	-0.1134	-0.0863	-0.2409	-8.5464



## Cálculo del refuerzo longitudinal

### Diseño de Columnas

Columna interior			Sentido:	E - O	
f'c	250	kg/cm <sup>2</sup>	Piso	1	
fy	4200	kg/cm <sup>2</sup>	Ubicación	1'-C	
Ag	1600	cm <sup>2</sup>	Dimensiones	40	cm
	160000	mm <sup>2</sup>		40	cm
	248	pulg <sup>2</sup>	VC	30	base
			M 2-2		
Combinaciones de carga (NEC 2015)		Pu (ton)	M3-3	M2-2	Mu
Comb1		-31.0146	-0.6617	0.1837	0.68672599
Comb2		-37.6027	-0.8268	0.2466	0.86279186
Comb3		-34.7246	-0.7978	0.2055	0.82384167
Comb4		-33.7286	-8.5464	-0.144	8.54761306
Comb5		-33.7286	-8.5464	-0.144	8.54761306
Comb6		-33.7286	-8.5464	-0.144	8.54761306
Comb7		-33.7286	-8.5464	-0.144	8.54761306
Comb8		-20.5003	-8.2589	-0.2409	8.2624126
Comb9		-20.5003	-8.2589	-0.2409	8.2624126
Comb10		-20.5003	-8.2589	-0.2409	8.2624126
Comb11		-20.5003	-8.2589	-0.2409	8.2624126
Envolvente		-37.6027	-8.5464	-0.2409	8.54979449

Carga superior de columna	3.67	ton	36.00	kN
Carga inferior	37.6027	ton	368.88	Kn

Pu,máx	37.6027	ton	<----	Controla
--------	---------	-----	-------	----------

Pu	>	Ag*f'c/10	
37.6027	>	40.00	Esta disposición no está en el ACI

#### Paso 1 Revisar dimensiones de secciones

Dimencion menor de la seccion	>	30	cm	
40	>	30	cm	Cumple

Dimencion menor de la sección	>	0.4	
1	>	0.4	Cumple

#### Paso 2 Determinar el refuerzo longitudinal requerido

∅	0.75		
h	40	cm	
e	0.227	m	
eteo=0.05 h	2.000	m	
eteo=1pulg	0.254	m	
eteomax	2.000	m	
e	<	teo	
0.23	<	2.000	Columna corta

Pn	50.14	ton
kn	0.125	
Rn	0.07123	
∅v	25	mm
∅e	12	mm
rec	4	cm
d	33.55	cm
d'	6.45	cm
γ	0.68	

cuantia asumida	1.90%
-----------------	-------

Ast	3040.00	mm <sup>2</sup>
	30.4	cm <sup>2</sup>

Separación perimetral libre de refuerzo longitudinal

S	8.30	cm
---	------	----

∅ varilla longitudinal	25
------------------------	----

A var long	490.873852	mm <sup>2</sup>
------------	------------	-----------------

#Var long	6.19303715
	8
d int	27.5

**Criterio Columna Fuerte-Viga Débil**

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb}$$

Capacidad a flexion de las columnas >= 6/5 de la capacidad a flexion de las vigas

espesor de losa	15	cm
-----------------	----	----

beff	1.7	m
	5.9	m
	1.18	m

espesor de losa = 0.18 m; bw (ancho de viga) = 0.3 m <---- Controla  
5,9 m(en el sentido que se analiza) y 4,7 m son las luce en N-S y E-O

Controla 1.18 m

Asmin	3.1725	cm2
Area ø 12	1.13	cm2

Donde b= 170 cm h= 15 cm

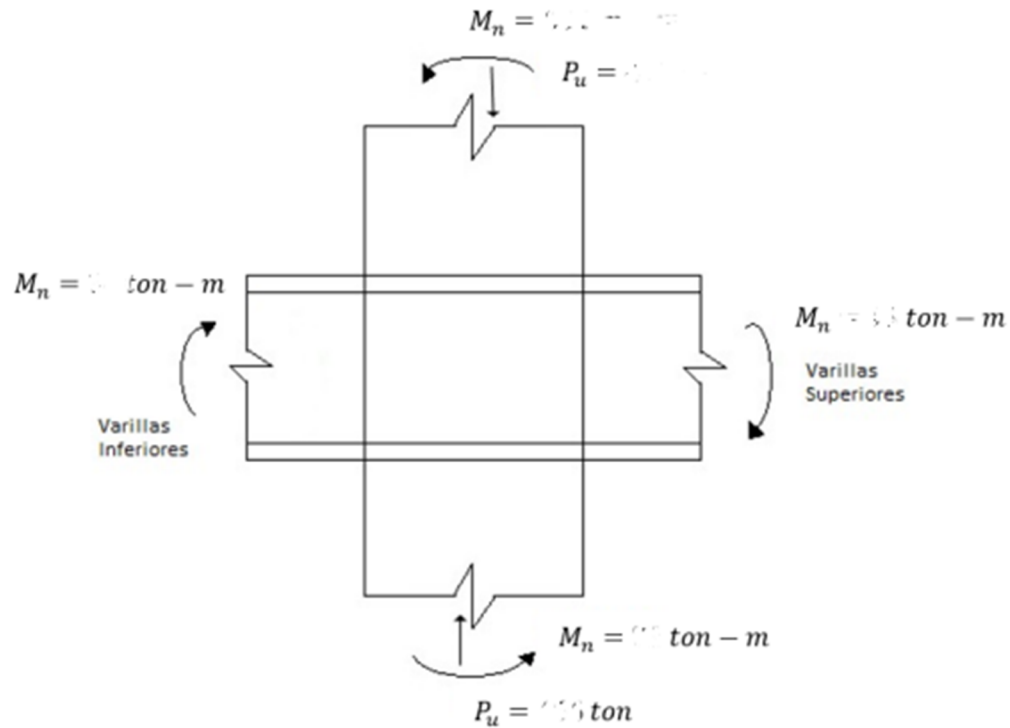
3

Separacion	60.60	----->	ø12@25cm	Superior e inferior
------------	-------	--------	----------	---------------------

Comprobación		
70	<	80 CUMPLE



Pu	-2.64	ton
Mn	20	ton-m



Mn	10.32	t-m
----	-------	-----

Mn	8.4	ton-m
----	-----	-------

Pu	-36.27	ton-m
Mn	16	ton-m

$\Sigma Mnc$	36	ton-m
$\Sigma Mnb$	18.72	ton-m

$\Sigma Mnc$	>	$(6/5)\Sigma Mnb$
36	>	22.464

o.k.

beff	79.2	←----
	138	
	335	

Controla el menor  
4,7es la luz en la dirección N - S  
5,9es la luz en la dirección E - O

30 ancho de vig

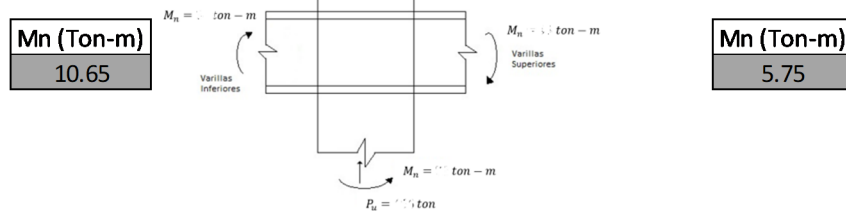
As, min	2.565	cm2
Area $\phi$ 12	1.13	cm2

2

Separación	34.91	----->	$\phi$ 12@35cm	Superior e inferior
------------	-------	--------	----------------	---------------------

Comprobación		
35	<	36 CUMPLE

Pu	-2.64	ton
Mn	20	ton-m



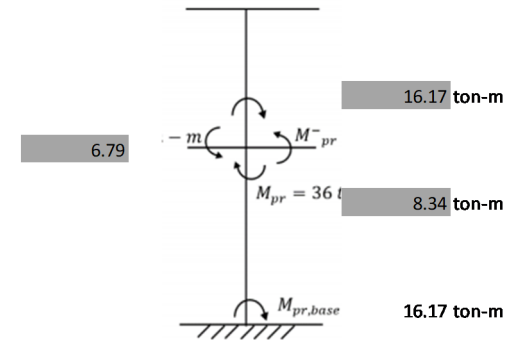
Pu	-36.27	ton-m
Mn	16	ton-m

$\Sigma$ Mnc	36	ton-m
$\Sigma$ Mnb	16.4	ton-m

$\Sigma$ Mnc	>	(6/5) $\Sigma$ Mnb	o.k.
36	>	19.68	

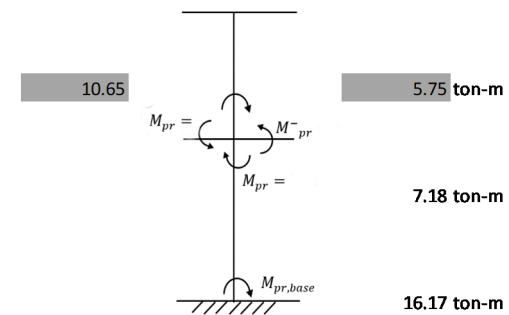
Dirección E-O

Mpr viga 1	6.79	ton-m
Mpr viga 2	8.34	ton-m
Mpr z. abajo	6.62	ton
Vu	9.72	ton
Mpr base	16.17	ton-m



Dirección N-S

Mpr viga1	10.65	ton-m
Mpr viga2	5.75	ton-m
Mpr z. abajo	7.18	ton
Vu	9.96	ton
Mpr base	16.17	ton-m



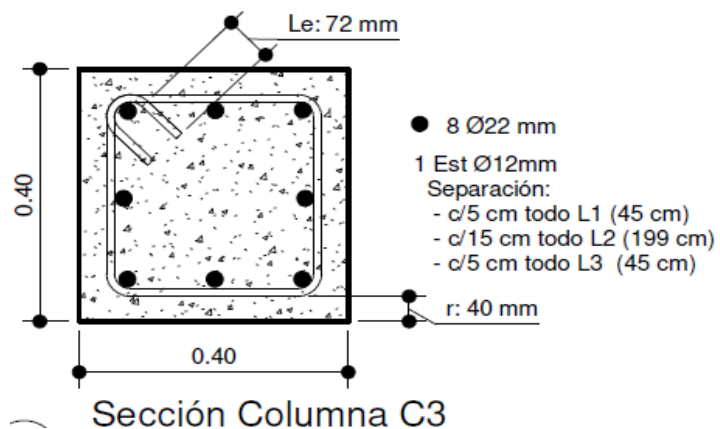
Pu	>	$A_g * f'c / 20$	Cumple
22.1913	>	15.31	

## Diseño Final y longitud de traslape

<b>b o h</b>	40	cm	
<b>d efec</b>	32	cm	
<b>Nu</b>	37.6027	ton	carga axial
<b>Vc</b>	12.53	ton	
<b>A<math>\Phi</math>e 12</b>	1.13	cm <sup>2</sup>	
<b># ramales</b>	2	u	
<b>S estribos</b>	10.00	cm	
<b>Vs</b>	30.4	ton	
<b><math>\phi(Vc+Vs)</math></b>	32.20	ton	
<b>lo estribo</b>	40	cm	
<b><math>\phi(Vc+Vs)</math></b>	>	Vu	
32.20	>	9.72	Cumple

<b>cb</b>	6.45	cm	---->Gobierna el menor
	6.78	cm	

<b><math>\beta</math></b>	1
<b><math>\alpha</math></b>	1
<b><math>\lambda</math></b>	1
<b><math>\gamma</math></b>	1



<b>ktr</b>	4.52
------------	------

<b>(c+ktr)/db</b>	4.52	>	2.5	---->	se usa 2.5 cm
-------------------	------	---	-----	-------	---------------

<b>ld</b>	76	cm
-----------	----	----

Traslape Clase B

<b>Longitud</b>	99	cm	--->	100	cm
-----------------	----	----	------	-----	----

**Anexo 4.- APU correspondiente al Edificio Txopituna (Manta), [Elaboración propia, 2021]**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>OBRA:</b>	Edificio Txopituna	<b>Unidad:</b>	m3		
<b>RUBRO:</b>	APU de Hormigón simple f'c=300 kg/cm2				
<b>DETALLE:</b>	Este análisis de precios unitarios es definitivo para la sección escogida en este caso de estudio				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Concreteira	1	4.48	4.48	1.00	4.48
Vibrador de manguera	1	4.06	4.06	1.00	4.06
Herramientas menores (5% MO)					2.28
<b>SUBTOTAL EQUIPOS (EQ.)</b>					10.82
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/H B	COSTO HORA C = A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón (Estruc. Ocup. E2)	10	3.62	36.20	1.00	36.200
Albañil (Estruc. Ocup. D2)	2	3.66	7.32	1.00	7.320
Maestro de obra (Estruc. Ocup. C1)	0.5	4.06	2.03	1.00	2.030
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (MO.)</b>					45.550
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	UNIDAD B	COSTO C= A*B	
Cemento Holcim Fuerte Tipo GU - Saco 50 Kg	u	10.800	7.37	79.60	
Arena Megamezcla	m3	0.420	12.5	5.25	
Ripio 3/8"	m3	0.660	10.04	6.63	
Agua	m3	0.258	0.85	0.22	
Plastificante Sikaplast 1010	kg	5.400	3.15	17.01	
<b>SUBTOTAL MATERIALES (MA.)</b>					108.70
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)</b>					0

<b>COSTO DIRECTO (CD = EQ + MO + MA + TR)</b>	<b>TOTAL CD:</b>	165.07
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	10.00% x CD	16.51
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	10.00% x CD	16.51

FIRMA DEL  
OFERENTE O SU  
REPRESENTANTE  
LEGAL (según el caso)

<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	198.08
<b>VALOR OFERTADO</b>	198.08

**Anexo 5.- APU correspondiente al Condominio Torre 5 (Daule), [Elaboración propia, 2021]**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>OBRA:</b>	Condominio Torre 5 Daule	<b>Unidad:</b>	m3		
<b>RUBRO:</b>	APU de Hormigón simple f'c=240 kg/cm2				
<b>DETALLE:</b>	Este análisis de precios unitarios es definitivo para la sección escogida en este caso de estudio				
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Concreteira	1	4.48	4.48	1.00	4.48
Vibrador de manguera	1	4.06	4.06	1.00	4.06
Herramientas menores (5% N)					2.28
<b>SUBTOTAL EQUIPOS (M)</b>					10.82
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/H B	COSTO HORA C = A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C*R
Peón (Estruc. Ocup. E2)	10	3.62	36.20	1.00	36.20
Albañil (Estruc. Ocup. D2)	2	3.66	7.32	1.00	7.32
Maestro de obra (Estruc. Ocup. C1)	0.5	4.06	2.03	1.00	2.03
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (N)</b>					45.55
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	UNIDAD B	COSTO C= A*B	
Cemento Holcim Fuerte Tipo GU - Saco 50 Kg	u	9.210	7.37	67.88	
Arena Megamezcla	m3	0.470	12.5	5.88	
Ripio 3/8"	m3	0.660	10.04	6.63	
Agua	m3	0.260	0.85	0.22	
<b>SUBTOTAL MATERIALES (O)</b>					80.60
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE (P)</b>					0

<b>COSTO DIRECTO (CD = M + N + O + P)</b>	<b>TOTAL CD:</b>	136.97
---	------------------	--------

FIRMA DEL  
OFERENTE O SU  
REPRESENTANTE  
LEGAL (según el caso)

<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	10.00%	x CD	13.70
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	10.00%	x CD	13.70
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>			164.36
<b>VALOR OFERTADO</b>			164.36

**Anexo 6.- APU correspondiente a Residencia Barcía Torres (Manta), [Elaboración propia, 2021]**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>OBRA:</b>	Residencia Barcía Torres (Manta)	<b>Unidad:</b>	m3		
<b>RUBRO:</b>	APU de Hormigón simple f'c=210 kg/cm2				
<b>DETALLE:</b>	Este análisis de precios unitarios es definitivo para la sección escogida en este caso de estudio				
<b>EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A*B</b>	<b>R</b>	<b>D = C*R</b>
Concreteira	1	4.48	4.48	1.00	4.48
Vibrador de manguera	1	4.06	4.06	1.00	4.06
Herramientas menores (5% MO)					2.28
<b>SUBTOTAL EQUIPOS (M)</b>					10.82
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN (CATEG.)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/H</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A*B</b>	<b>R</b>	<b>D = C*R</b>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	10	3.62	36.20	1.00	36.20
Albañil (Estruc. Ocup. D2)	2	3.66	7.32	1.00	7.32
Maestro de obra (Estruc. Ocup. C1)	0.5	4.06	2.03	1.00	2.03
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (N)</b>					45.55
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A*B</b>	
Cemento Holcim Fuerte Tipo GU - Saco 50 Kg	u	8.500	7.37	62.65	
Arena Megamezcla	m3	0.490	12.5	6.13	
Ripio 3/8"	m3	0.660	10.04	6.63	
Agua	m3	0.261	0.85	0.22	
<b>SUBTOTAL MATERIALES (O)</b>					75.62

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE (P)</b>					0

ESTOS PRECIOS NO  
INCLUYEN IVA

FIRMA DEL OFERENTE  
O SU REPRESENTANTE  
LEGAL (según el caso)

<b>COSTO DIRECTO (CD = M+ N + O + P)</b>		<b>TOTAL CD:</b>	131.99
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	10.00%	x CD	13.20
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	10.00%	x CD	13.20
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>			158.38
<b>VALOR OFERTADO</b>			158.38

**Anexo 7.- APU correspondiente a Familia Zambrano Arroyave (Manta), [Elaboración propia, 2021]**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>OBRA:</b>	Familia Zambrano Arroyave (Manta)		<b>Unidad:</b>	m3	
<b>RUBRO:</b>	APU de Hormigón simple f'c=210 kg/cm2				
<b>DETALLE:</b>	Este análisis de precios unitarios es definitivo para la sección escogida en este caso de estudio				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D=C*R
Concreteira	1	4.48	4.48	1.00	4.48
Vibrador de manguera	1	4.06	4.06	1.00	4.06
Herramientas menores (5% MO)					2.28
<b>SUBTOTAL EQUIPOS (M)</b>					10.82
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Peón (Estruc. Ocup. E2)	10	3.62	36.20	1.00	36.20
Albañil (Estruc. Ocup. D2)	2	3.66	7.32	1.00	7.32
Maestro de obra (Estruc. Ocup. C1)	0.5	4.06	2.03	1.00	2.03
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (N)</b>					45.55
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
		A	B	C= A*B	

Cemento Holcim Fuerte Tipo GU - Saco 50 Kg	u	8.500	7.37	62.65	
Arena Megamezcla	m3	0.490	12.5	6.13	
Ripio 3/8"	m3	0.660	10.04	6.63	
Agua	m3	0.261	0.85	0.22	
<b>SUBTOTAL MATERIALES (O)</b>				75.62	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DMT</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE (P)</b>				0	

ESTOS PRECIOS NO  
INCLUYEN IVA

FIRMA DEL OFERENTE  
O SU REPRESENTANTE  
LEGAL (según el caso)

<b>COSTO DIRECTO (CD = M + N + O + P)</b>	<b>TOTAL CD:</b>	131.99
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	10.00% x CD	13.20
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	10.00% x CD	13.20
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		158.38
<b>VALOR OFERTADO</b>		158.38

#### Anexo 8.- APU de reparación de elemento estructural, [Elaboración propia, 2021]

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>OBRA:</b>	Casos de Estudio		<b>Unidad:</b>	M2	
<b>RUBRO:</b>	Reparación de elemento estructural				
<b>DETALLE:</b>	Este análisis de precios unitarios es definitivo para cada caso de estudio				
<b>EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A*B</b>	<b>R</b>	<b>D = C*R</b>
Bomba de agua	2	2.80	5.60	0.16	0.90
Cortadora	1	3.00	3.00	0.03	0.09
Herramientas menores (5% N)					6.65
<b>SUBTOTAL EQUIPOS (M)</b>					7.64
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN (CATEG.)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/H</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A*B</b>	<b>R</b>	<b>D = C*R</b>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	6	3.62	21.72	3.58	77.76
Fierrero (Estruc. Ocup. D2)	2	3.66	7.32	3.58	26.21
Maestro de obra (Estruc. Ocup. C1)	0.2	4.06	0.81	3.58	2.91
Carpintero (Estruc. Ocup. D2)	2	3.66	7.32	3.58	26.21
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (N)</b>					133.08
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A*B</b>	



Hormigón premezclado f'c=280 Mpa	m3	0.250	135.98	34.00	
Plywood 15 mm	u	0.780	21.74	16.96	
Cuartón de 2x3	u	3.000	3	9.00	
Tira de 1x3	u	2.000	1.5	3.00	
Alambre Galvanizado N°12	kg	1.500	1.33	2.00	
Alambre Recocido N°18	kg	1.250	1.03	1.29	
Clavos de 2 1/2"	kg	1.000	1.62	1.62	
<b>SUBTOTAL MATERIALES (O)</b>				67.85	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DMT</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE (P)</b>				0	

\_\_\_\_\_  
 FIRMA DEL OFERENTE O  
 SU REPRESENTANTE  
 LEGAL (según el caso)

<b>COSTO DIRECTO (CD = M + N + O + P)</b>	<b>TOTAL CD:</b>	208.57
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	10.00% x CD	20.86
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	10.00% x CD	20.86
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		250.28
<b>VALOR OFERTADO</b>		250.28

## Anexo 9.- Reporte de Service Life para el Caso de Estudio 1, [Elaboración propia, 2021]

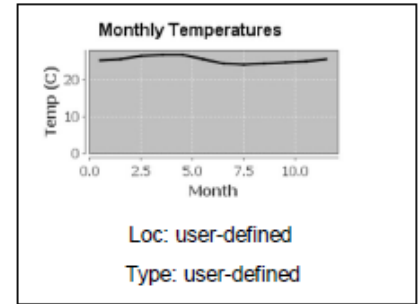
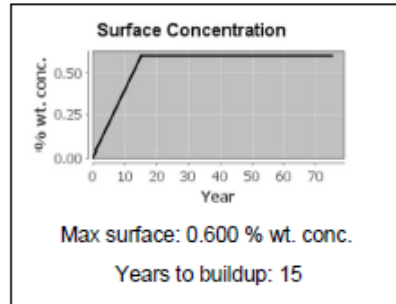
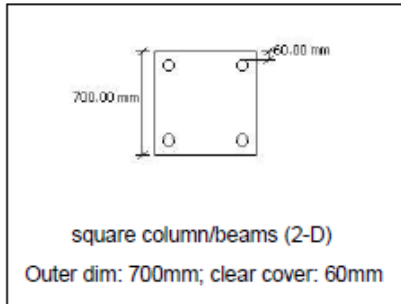
### Life-365 v2.2 - Concrete Mixes and Service Lives

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Edificio Txopituna

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis: Columna)

Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Alternativa 1		0.4				Black Steel
Alternativa 2		0.4				Black Steel

"n/a" indicates that, since the user is specifying the diffusion properties of this mix, this value is not specified.

### Diffusion Properties and Service Lives

Alt name	D28	m	Ct	IniL	Prop.	Service life
Alternativa 1	7.94E-12 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	7.8 yrs	6 yrs	13.6 yrs
Alternativa 2	7.94E-12 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	7.8 yrs	6 yrs	13.6 yrs

">" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

**Anexo 10.- Reporte del costo de ciclo de vida generado por Service Life para el Caso de Estudio 1, [Elaboración propia, 2021]**

**Life-365 v2.2 - Life-Cycle Costs**

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Edificio Txopituna

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis: Columna)

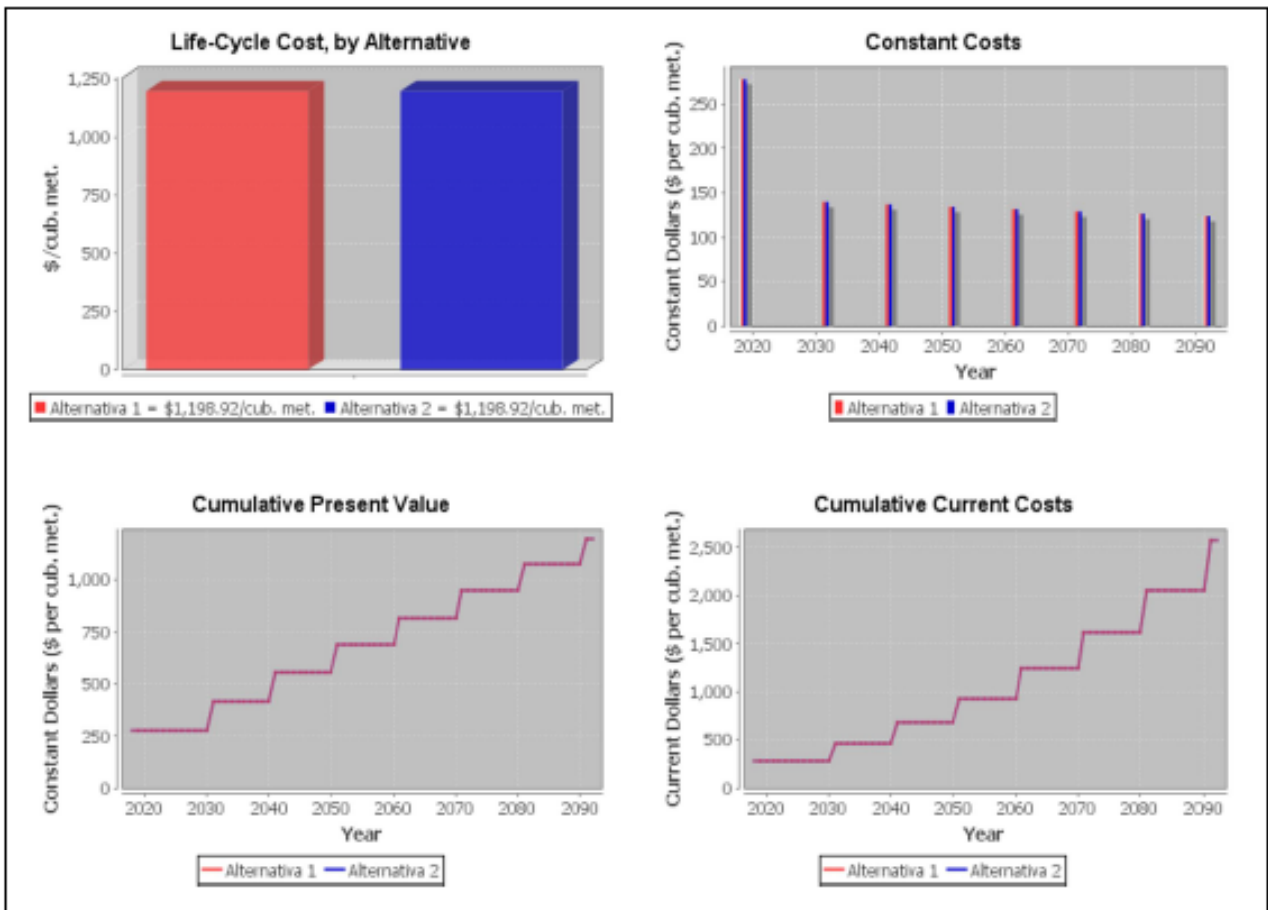
Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021

**Life-Cycle Costs**

Name	Construction Cost	Barrier Cost	Repair Cost	Life-Cycle Cost
Alternativa 1	\$278.11 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$920.81 per cub. met.	\$1,198.92 per cub. met.
Alternativa 2	\$278.11 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$920.81 per cub. met.	\$1,198.92 per cub. met.

**Graphs**



## Anexo 11.- Reporte de Service Life para el Caso de Estudio 2, [Elaboración propia, 2021]

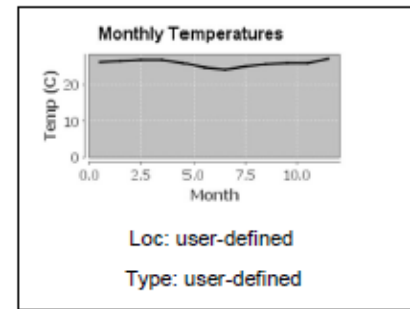
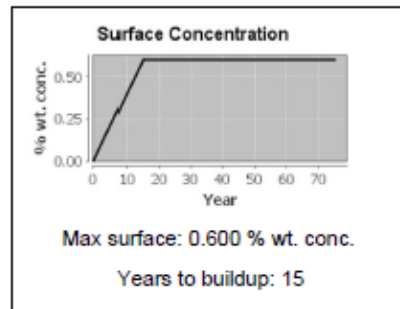
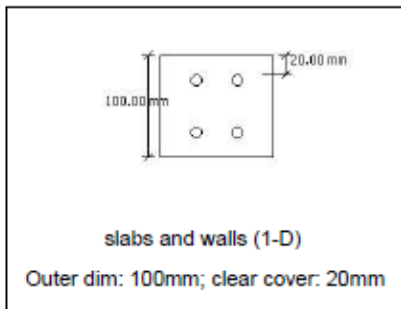
### Life-365 v2.2 - Concrete Mixes and Service Lives

Project: Evaluación del periodo de vida útil del  
Condominio Torre 5 (Daule)

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de  
análisis: Losa)

Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Alternativa 1		0.47				Black Steel
Alternativa 2		0.47		A&E - 5 L/cub. met.		Black Steel

"n/a" indicates that, since the user is specifying the diffusion properties of this mix, this value is not specified.

### Diffusion Properties and Service Lives

Alt name	D28	m	Ct	IniL	Prop.	Service life
Alternativa 1	1.17E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	3.1 yrs	6 yrs	9.1 yrs
Alternativa 2	1.05E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	0.12 % wt. conc.	10.6 yrs	6 yrs	16.6 yrs

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Anexo 12.- Reporte del costo de ciclo de vida generado por Service Life para el Caso de Estudio 2, [Elaboración propia, 2021]

### Life-365 v2.2 - Life-Cycle Costs

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Condominio Torre 5 (Daule)

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis: Losa)

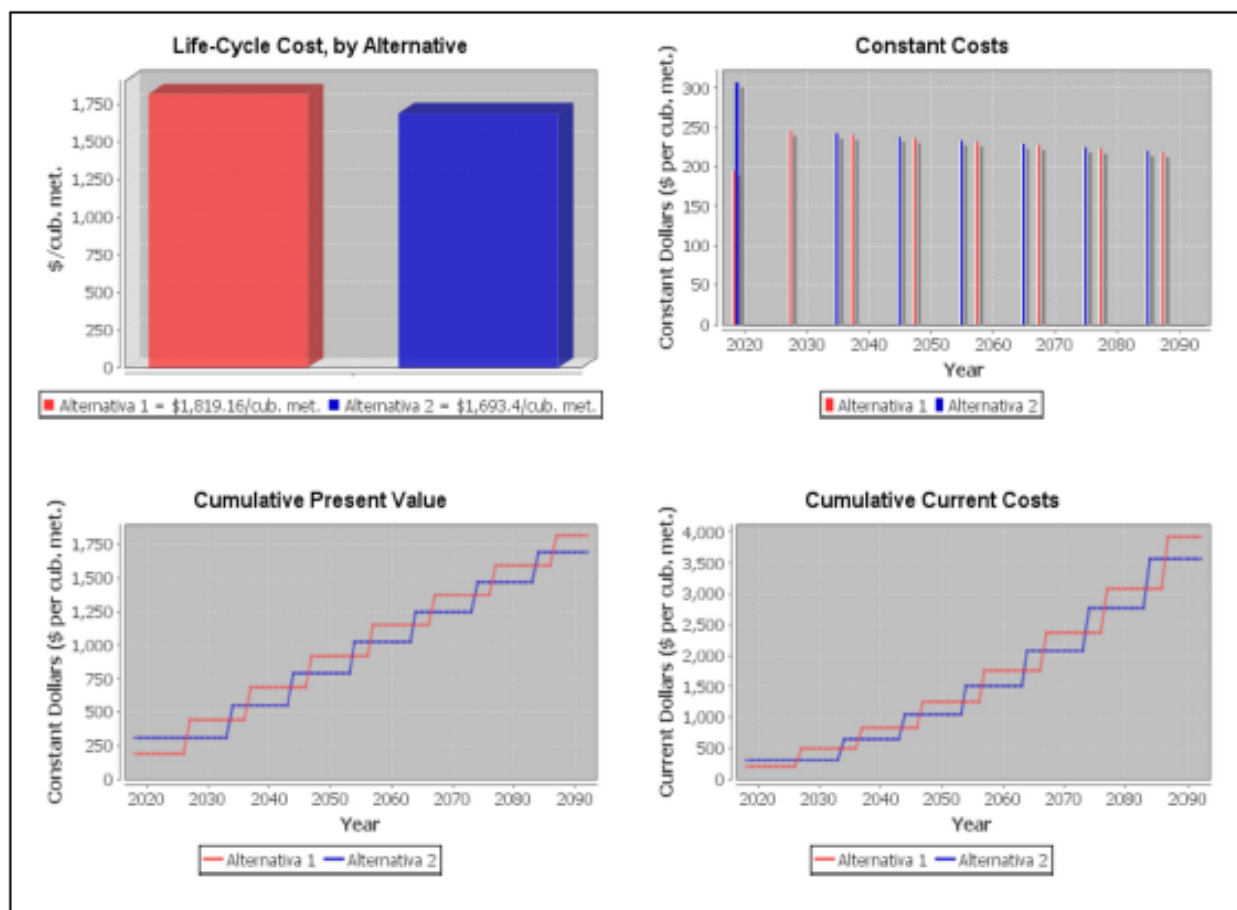
Analyst: Jefferson Guanoluiza & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021

### Life-Cycle Costs

Name	Construction Cost	Barrier Cost	Repair Cost	Life-Cycle Cost
Alternativa 1	\$195.05 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$1,624.11 per cub. met.	\$1,819.16 per cub. met.
Alternativa 2	\$307.05 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$1,386.35 per cub. met.	\$1,693.40 per cub. met.

### Graphs



## Anexo 13.- Reporte de Service Life para el Caso de Estudio 3, [Elaboración propia, 2021]

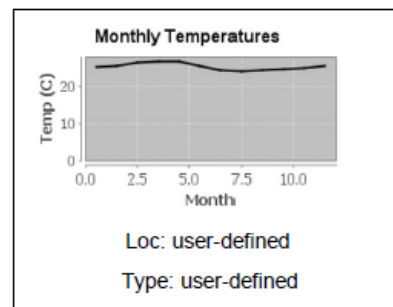
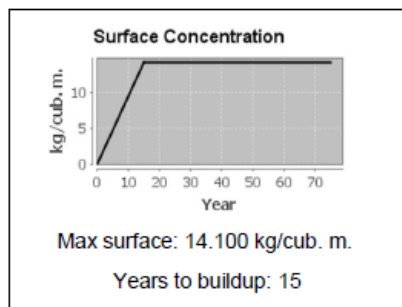
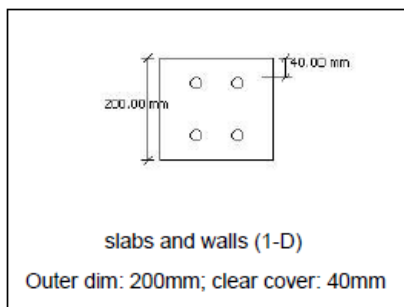
### Life-365 v2.2 - Concrete Mixes and Service Lives

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Residencia Barcía Torres (Manta)

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis: Muro Estructural)

Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Alternativa 1		0.51				Black Steel
Alternativa 2		0.51		A&E - 5 L/cub. met.		Black Steel

*"n/a" indicates that, since the user is specifying the diffusion properties of this mix, this value is not specified.*

### Diffusion Properties and Service Lives

Alt name	D28	m	Ct	Init.	Prop.	Service life
Alternativa 1	1.46E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	1.18 kg/cub. m.	5 yrs	6 yrs	11 yrs
Alternativa 2	1.31E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	2.82 kg/cub. m.	14.8 yrs	6 yrs	20.8 yrs

## Anexo 14.- Reporte del costo de ciclo de vida generado por Service Life para el Caso de Estudio 3, [Elaboración propia, 2021]

### Life-365 v2.2 - Life-Cycle Costs

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Residencia Barcía Torres (Manta)

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis: Muro Estructural)

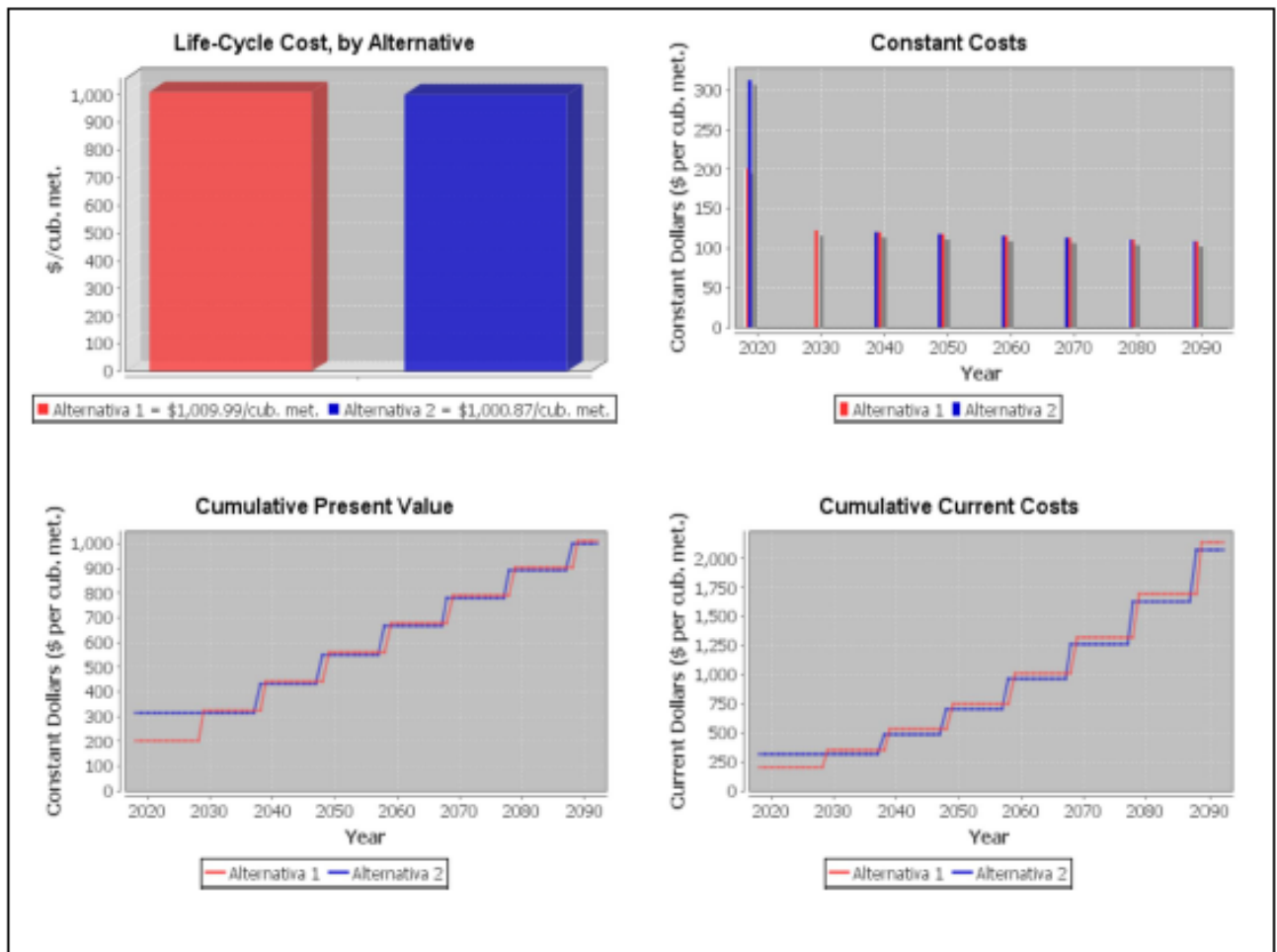
Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021

### Life-Cycle Costs

Name	Construction Cost	Barrier Cost	Repair Cost	Life-Cycle Cost
Alternativa 1	\$201.11 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$808.87 per cub. met.	\$1,009.99 per cub. met.
Alternativa 2	\$313.12 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$687.75 per cub. met.	\$1,000.87 per cub. met.

### Graphs



## Anexo 15.- Reporte de Service Life para el Caso de Estudio 4, [Elaboración propia, 2021]

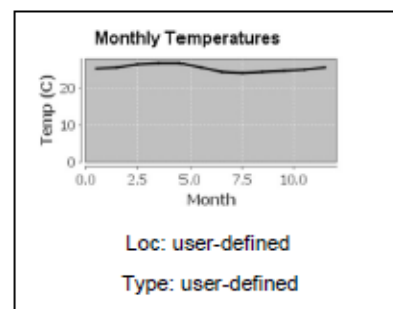
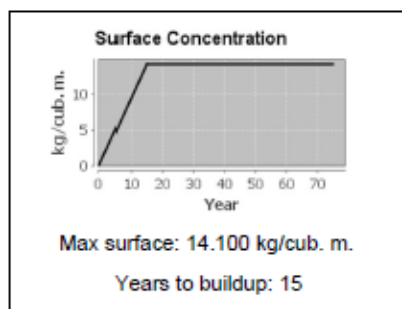
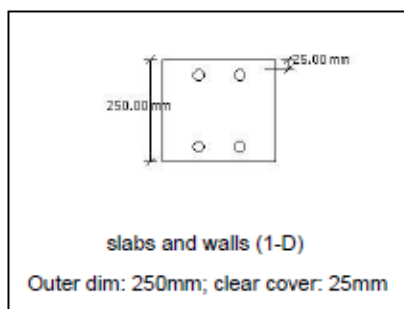
### Life-365 v2.2 - Concrete Mixes and Service Lives

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Edificio  
Familia Zambrano Arroyave (Manta)

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de  
análisis: Losa)

Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Alternativa 1		0.51				Black Steel
Alternativa 2		0.51		A&E - 5 L/cub. met.		Black Steel

"n/a" indicates that, since the user is specifying the diffusion properties of this mix, this value is not specified.

### Diffusion Properties and Service Lives

Alt name	D28	m	Ct	Init.	Prop.	Service life
Alternativa 1	1.46E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	1.18 kg/cub. m.	3.4 yrs	6 yrs	9.4 yrs
Alternativa 2	1.31E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	2.82 kg/cub. m.	11.2 yrs	6 yrs	17.2 yrs

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Anexo 16.- Reporte del costo de ciclo de vida generado por Service Life para el Caso de Estudio 4, [Elaboración propia, 2021]

### Life-365 v2.2 - Life-Cycle Costs

Project: Evaluación del periodo de vida útil del Edificio Familia Zambrano Arroyave (Manta)

Description: Edificio ya construido en sitio (Elemento de análisis: Losa)

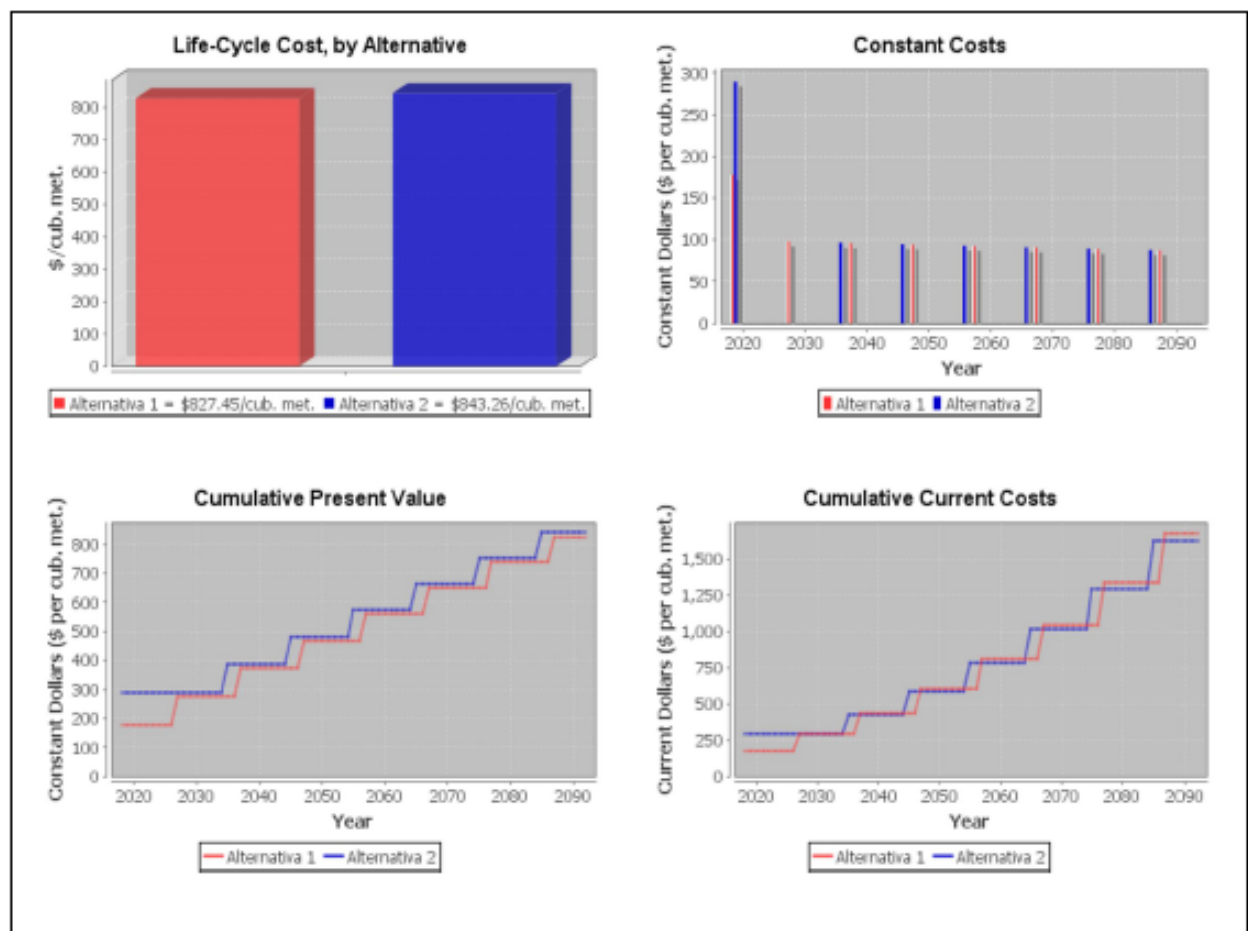
Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 12/07/2021

### Life-Cycle Costs

Name	Construction Cost	Barrier Cost	Repair Cost	Life-Cycle Cost
Alternativa 1	\$177.81 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$649.64 per cub. met.	\$827.45 per cub. met.
Alternativa 2	\$289.81 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$553.45 per cub. met.	\$843.26 per cub. met.

### Graphs



## Anexo 17.- Reporte de Service Life para la dosificación propuesta, [Elaboración propia, 2021]

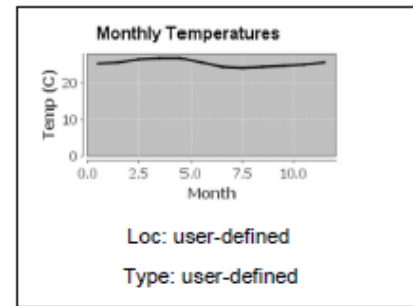
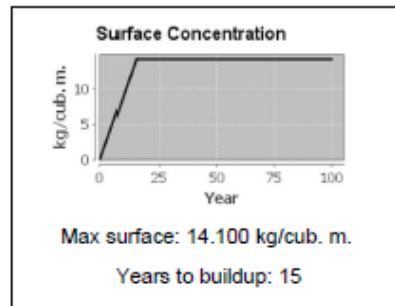
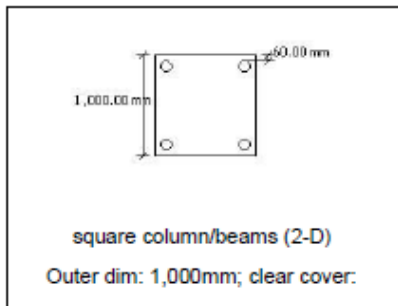
### Life-365 v2.2 - Concrete Mixes and Service Lives

Project: Comparación de alternativas

Description: Se compara el impacto de una mezcla de concreto con inhibidor de corrosión frente a una mezcla convencional

Analyst: Jefferson Guanoluisa & Andrés Tenempaguay

Date: 02/08/2021



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Alternativa 1		0.47	Slag (20%); Class F Fly Ash (5%); Silica Fume (10%);	A&E - 5 L/cub. met.		Black Steel
Alternativa 2		0.47	Slag (20%); Class F Fly Ash (5%); Silica Fume (10%);			Black Steel
Alternativa 3		0.47				Black Steel

"n/a" indicates that, since the user is specifying the diffusion properties of this mix, this value is not specified.

### Diffusion Properties and Service Lives

Alt name	D28	m	Ct	Init.	Prop.	Service life
Alternativa 1	2.02E-12 m <sup>2</sup> /m/sec	0.35	2.82 kg/cub. m.	70.8 yrs	6 yrs	<b>76.8 yrs</b>
Alternativa 2	2.26E-12 m <sup>2</sup> /m/sec	0.35	1.18 kg/cub. m.	35.8 yrs	6 yrs	<b>41.8 yrs</b>
Alternativa 3	1.17E-11 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	1.18 kg/cub. m.	6 yrs	6 yrs	<b>12 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Anexo 18.- Reporte del costo de ciclo de vida generado por Service Life para la dosificación propuesta, [Elaboración propia, 2021]

### Life-365 v2.2 - Life-Cycle Costs

Project: Comparación de alternativas

Description: Se compara el impacto de una mezcla de concreto con inhibidor de corrosión frente a una mezcla convencional

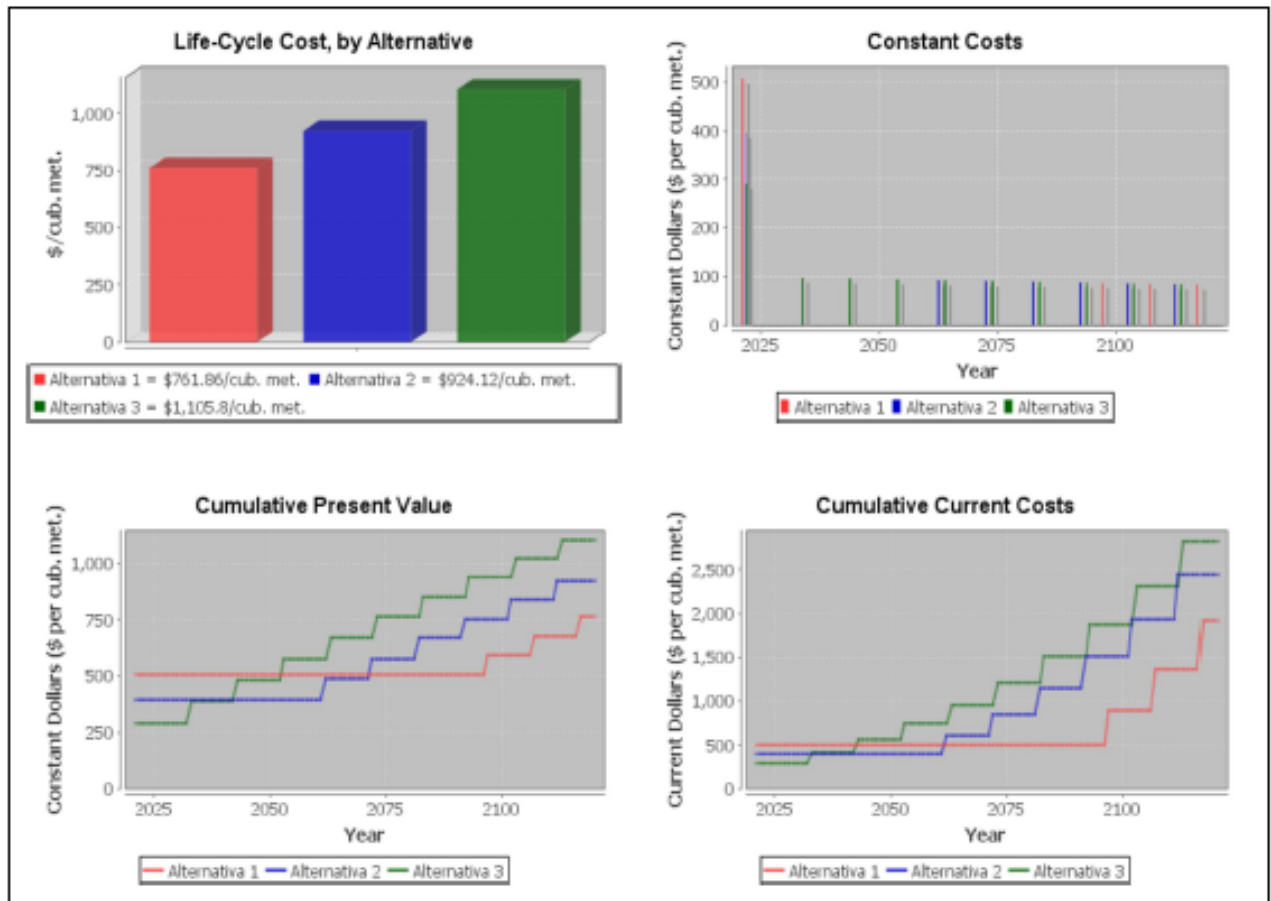
Analyst: Jefferson Guanoluiza & Andrés Tenempaguay

Date: 02/08/2021


### Life-Cycle Costs

Name	Construction Cost	Barrier Cost	Repair Cost	Life-Cycle Cost
Alternativa 1	\$508.14 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$253.72 per cub. met.	\$761.86 per cub. met.
Alternativa 2	\$396.14 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$527.99 per cub. met.	\$924.12 per cub. met.
Alternativa 3	\$291.17 per cub. met.	\$0.00 per cub. met.	\$814.63 per cub. met.	\$1,105.80 per cub. met.

### Graphs



**Anexo 19 .- Proforma del inhibidor de corrosión MCI 2005 Patentado.**

<b>TEDEX S.A.</b> <small>INDUSTRIAS Y SERVICIOS</small>		<b>FACTURA</b> No. 001-002-000003670				
<b>R.U.C. 0992281642001</b>		AMBIENTE: PRODUCCION NUMERO DE AUTORIZACIÓN: 3006202101099228164200120010020000036701234567811 FECHA DE AUTORIZACIÓN: 30/06/2021 11:54:15.000				
Razón Social: TEDEX S.A. Dirección: PUERTO SANTA ANA EDIF. SOTAVENTO PISO 2 OFICINA 201 Retención a: cobranzasdis@codemet.com Fono: 3905000 - 2075400 Agente de Retención Resolución No.: 1		 3006202101099228164200120010020000036701234567811 <b>OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD</b>				
Sucursal: GUAYAQUIL - PUERTO SANTA ANA EDIF. SOTAVENTO PISO 2 OFICINA Correo: disventas@codemet.com Fono: PBX 2075400		RUC / CI: 0932065204 Fecha de Emisión: 30/06/2021				
Cliente: FERNANDO MITE ANASTACIO Dirección: CORONEL Y SAN MARTIN						
Forma de Pago: OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO		Valor: 22,40	Plazo: 0 DIAS			
Código	Cantidad	Descripción	Medida	PVP Unidad	Dcto	Parcial
0503013	1,00	CORTEC MCI-2005 PATENTADO - INHIBIDOR DE CORROSIÓN	Litro	25,00	5,00	20,00
<b>Información Adicional</b>						Total Descuentos 5,00 Subtotal sin Impuestos 20,00 Subtotal 12,00% 20,00 Subtotal 0% 0,00 ICE 0,00 IVA 12,00% 2,40 Valor Total 22,40
Email Cliente: famite@espol.edu.ec Condición de Pago: CONTADO Guía Remisión:		Orden Compra: Vence: 30/06/2021				
NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES						
Obs: VDR: 001    USR: MERCEDES    PRD: VITRINA DE EXHIBICION    SCR: GUAYAQUIL						
Los valores y descripción arriba indicados corresponden a mercadería recibida a mi entera satisfacción, que debo y pagaré en esta ciudad o donde se me reconvenga a la orden de TEDEX S.A. a la sola presentación de este documento. Reconocerá el mínimo interés anual vigente por mora inmediatamente después de los plazos indicados de la forma de pago a la que me comprometo al suscribir este documento. Sirvase pagar cheque a la orden de TEDEX S.A. Este documento no tiene validez si presenta señales de adulteración. Declaro que el producto de esta transacción será utilizado en actividades lícitas permitidas por la ley del Ecuador						
MERCEDES Elaborado por		<b>CANCELADO</b> 30/06/2021 Recibí Conforme				

**Anexo 20 .- Cotización de un saco de Cemento Holcim Fuerte Tipo Gu**

 <p><b>disensa</b> JUNTOS CONSTRUIMOS MEJOR</p>	R.U.C. 0992229799001  <b>FACTURA No.:</b> 001-002-000011812  Número de autorización: 2806202101099222979900120010020000118121234567812  Fecha y hora de autorización: 28/06/2021 11:42:32  Ambiente: Producción  Emisión: NORMAL
	Clave de Acceso:  2806202101099222979900120010020000118121234567812

Razón Social / Nombres y Apellidos : FERNANDO MITE Identificación: 0932065204 Dirección: NOGUCHI Y LETAMENDI	Fecha de emisión: 28/06/2021 Guía Remisión:
--	--

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cantidad	Descripción	Detalle Adicional	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
00000001	00000001	1	CEMENTO HOLCIM FUERTE TIPO GU SACO 50 KG	SAC50K	7,37	0,00	7,37

<b>Información adicional</b>				Subtotal 12%: 7,37 Subtotal IVA 0%: 0,00 Subtotal sin impuestos: 7,37 Descuento: 0,00 ICE: 0,00 IVA 12%: 0,88 Total: 8,25	
DIRECCION	NOGUCHI Y LETAMENDI				
TELEFONO	0962770690				
E-MAIL	famite100@gmail.com				
TIPOVENTA	CONTADO				
COMENTARIO	T/C DATAFAST AUT:605618 8.25 AGENTE DE RETENCION RESOLUCION NAC-DNCR ASC20-00000001 AGENTE DE RETENCION RESOLUCION NAC-DNCR ASC20-00000001				
LINK-DESCARGA	ESTIMADO CLIENTE POR FAVOR VERIFIQUE LOS DATOS DE SU FACTURA PARA OBTENER FACTURA ELECTRONICA INGRESAR A LA PAGINA WEB DEL SRI CON LA CLAVE DE ACCESO				
<b>Formas de Pago</b>					
<b>Forma de Pago</b>	<b>Plazo</b>	<b>Unidad de Tiempo</b>	<b>Valor</b>		
TARJETA DE CRÉDITO	-	días	8,25		



**Anexo 21 .- Cotización de arena y ripio obtenido de la Cantera Chorrillo (Manta)**



CLAVE DE ACCESO:



1906202101139180060600120010040003136921190081718

**MEGAROK S.A.**

Sitio Chorrillo s/n, Montecristi - Manabí  
 RUC: 1391800606001  
 Teléfonos: 053700855  
 Email: consultas@megarok.com.ec  
 Web: www.megarok.com.ec

**"OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD"**

**CONTRIBUYENTE ESPECIAL N° NAC-PCTRSGE 13-00 620**

**FACTURA 001-004-000313692**

Nro. Aut. SRI:  
 1906202101139180060600120010040003136921190081718

Fecha y hora de autorización:  
 Ambiente: PRODUCCIÓN  
 Tipo de emisión: NORMAL

Sr (a): TENEMPAGUA Y PALATE ANDRES NICOLAS  
 R.U.C./C.I.: 0942098096  
 Fecha de emisión: 2021-06-19  
 Direccion: MILAGRO  
 Telefono: 0989325244  
 Email: andniten@espol.edu.ec  
 Vencimiento: 19/06/2021  
 Comercio: TENEMPAGUA Y PALATE ANDRES NICOLAS

COD. PRIN.	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO \$	DESCUENTO \$	TOTAL \$
10019100.2	1.000000	SACO 50 KG MEGAMEZCLA PLUS	4,29	0,00	4,29
10035018.1	1.000000	SACO 50 KG PIEDRA CHISPA # 8	1,21	0,00	1,21

PAGOS				
FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	UNIDAD	
SIN UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	6.16	0	días	

SUBTOTAL IVA 12% \$	5,50
SUBTOTAL 0% \$	0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS \$	5,50
DESCUENTO \$	0,00
ICE \$	0,00
IVA 12% \$	0,66
<b>VALOR TOTAL \$</b>	<b>6,16</b>

Revise sus documentos electrónicos con:

**factel**


Descargue la App



Consulte sus documentos electrónicos en: [www.factel.com.ec](http://www.factel.com.ec)

[www.nsim.com.ec](http://www.nsim.com.ec)

Anexo 22.- Proforma del Sika Fume

<b>TRADESIKA</b> 0923643704001					
<b>FALCONI GARCIA FREDDY ALEX</b>					
Dir.: Coop. Los Vergeles Mz. 224 Sl. 10					
Tlf.: 043 107322 - 0992855980					
Email.: distribuidoratradesika@gmail.com					
Email.: freddy_alex_falconi@hotmail.com					
Fecha: 12 de Julio 2021					
<b>COTIZACIÓN N° 264</b>					
Cliente:		RUC.:			
Dir.:		Tlf.:			
N°	CANTIDAD	NOMBRE	UNIDAD	PRECIO	VALOR D T.
1	1	Sikafume		\$ 44,31	\$ 44,31
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
				<b>Subtotal</b>	\$ 44,31
				<b>12% IVA</b>	\$ 5,32
				<b>Total</b>	\$ 49,63

TRADESIKA, estamos para servirle

## Anexo 23.- Hoja MSDS del inhibidor de corrosión Sika CNI

### FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sika®-CNI



Versión 1.0      Fecha de revisión: 2015/12/22      Número MSDS: 00000603380      Fecha de la última expedición: -  
Fecha de la primera expedición: 2015/12/22

P264 Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.  
P270 No comer, beber ni fumar durante su utilización.  
P273 Evitar su liberación al medio ambiente.  
P280 Llevar guantes/ gafas/ máscara de protección.  
**Intervención:**  
P301 + P310 + P330 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico. Enjuagarse la boca.  
P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.  
P337 + P313 Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.  
P370 + P378 En caso de incendio: Utilizar arena seca, producto químico seco o espuma resistente al alcohol para la extinción.  
P391 Recoger el vertido.  
**Almacenamiento:**  
P405 Guardar bajo llave.  
**Eliminación:**  
P501 Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos autorizada.

#### Otros peligros que no dan lugar a la clasificación

Ninguna conocida.

### 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

#### Componentes peligrosos

Nombre químico	No. CAS	Concentración (% w/w)
nitrito de calcio	13780-06-8	>= 30 - < 50

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

- Recomendaciones generales : Retire a la persona de la zona peligrosa.  
Consultar a un médico.  
Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.  
Los síntomas de envenenamiento sólo pueden apreciarse varias horas después.
- Si es inhalado : Sacar al aire libre.  
Consultar a un médico después de una exposición importante.
- En caso de contacto con la piel : Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados.  
Eliminar lavando con jabón y mucha agua.  
Si los síntomas persisten consultar a un médico.
- En caso de contacto con los ojos : Enjuagar inmediatamente los ojos con abundante agua.  
Retirar las lentillas.  
Manténgase el ojo bien abierto mientras se lava.  
Si persiste la irritación de los ojos, consultar a un especialista.



## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sika®-CNI



Versión	Fecha de revisión:	Número MSDS:	Fecha de la última expedición: -
1.0	2015/12/22	000000603380	Fecha de la primera expedición: 2015/12/22

Si es tragado	: Lavar la boca con agua y después beber agua abundante. No dar leche ni bebidas alcohólicas. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Consulte al médico.
Principales síntomas y efectos, agudos y retardados	: efectos irritantes Molestias gastrointestinales Lacrimación excesiva Vea la Sección 11 para obtener información detallada sobre la salud y los síntomas.
Notas para el médico	: Tratar sintómicamente.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

#### Características inflamables

Punto de inflamación	: No aplicable
Medios de extinción apropiados	: Dióxido de carbono (CO2)
Medios de extinción no apropiados	: Agua
Peligros específicos en la lucha contra incendios	: No permita que las aguas de extinción entren en el alcantarillado o en los cursos de agua.
Productos de combustión peligrosos	: No se conocen productos de combustión peligrosos
Métodos específicos de extinción	: El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados. El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado. Los restos del incendio y el agua de extinción contaminada deben eliminarse según las normas locales en vigor.
Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios	: En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

### 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia	: Utilícese equipo de protección individual. Negar el acceso a personas sin protección.
Precauciones relativas al medio ambiente	: No echar al agua superficial o al sistema de alcantarillado sanitario. Si el producto contaminara ríos, lagos o alcantarillados, informar a las autoridades respectivas.

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sika®-CNI



Versión	Fecha de revisión:	Número MSDS:	Fecha de la última expedición: - Fecha de la primera expedición:
1.0	2015/12/22	000000603380	2015/12/22

Métodos y material de contención y de limpieza : Recojer con un producto absorbente inerte (por ejemplo, arena, diatomita, fijador de ácidos, fijador universal, serrín). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión : Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

Consejos para una manipulación segura : Evitar sobrepasar los límites dados de exposición profesional (ver sección 8). Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Equipo de protección individual, ver sección 8. No fumar, no comer ni beber durante el trabajo. Cuando se manejen productos químicos, siga las medidas estándar de higiene.

Condiciones para el almacenaje seguro : Entrada prohibida a toda persona no autorizada. Almacenar en el envase original. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas. Observar las indicaciones de la etiqueta. Almacenar de acuerdo con la reglamentación local.

### 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

#### Protección personal

Protección respiratoria : Utilice protección respiratoria a menos que exista una ventilación de escape adecuada o a menos que la evaluación de la exposición indique que el nivel de exposición está dentro de las pautas recomendadas. La clase de filtro para el respirador debe ser adecuado para la concentración máxima prevista del contaminante (gas/vapor/aerosol/particulados) que puede presentarse al manejar el producto. Si se excede esta concentración, se debe utilizar un aparato respiratorio autónomo.

Protección de las manos : Guantes químico-resistentes e impermeables que cumplan con estándares aprobados deben ser utilizados cuando se manejen productos químicos y la evaluación del riesgo indica que es necesario.

Protección de los ojos : Equipo de protección ocular que cumpla con estándares aprobados debe ser utilizado cuando la evaluación del riesgo indica que es necesario.

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sika®-CNI



Versión	Fecha de revisión:	Número MSDS:	Fecha de la última expedición: -
1.0	2015/12/22	00000603380	Fecha de la primera expedición: 2015/12/22

octanol/agua

Temperatura de auto-inflamación : Sin datos disponibles

Temperatura de descomposición : Sin datos disponibles

Viscosidad  
Viscosidad, dinámica : Sin datos disponibles

Viscosidad, cinemática : > 7 mm<sup>2</sup>/s (40 °C)

Peso molecular : Sin datos disponibles

### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad : No se conoce reacciones peligrosas bajo condiciones de uso normales.

Estabilidad química : El producto es químicamente estable.

Posibilidad de reacciones peligrosas : Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

Condiciones que deben evitarse : Sin datos disponibles

Materiales incompatibles : Sin datos disponibles

Productos de descomposición peligrosos : No se descompone si se almacena y aplica como se indica.

### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

#### Toxicidad aguda

Sin datos disponibles

### 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

#### Ecotoxicidad

Sin datos disponibles

#### Persistencia y degradabilidad

Sin datos disponibles

#### Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

#### Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

#### Otros efectos adversos

#### Producto:

Información ecológica com- : Muy tóxico para los organismos acuáticos.

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sika®-CNI



Versión	Fecha de revisión:	Número MSDS:	Fecha de la última expedición: -
1.0	2015/12/22	000000603380	Fecha de la primera expedición: 2015/12/22

plementaria

### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

#### Métodos de eliminación.

- Residuos : No se debe permitir que el producto penetre en los desagües, tuberías, o la tierra (suelos).  
No contaminar los estanques, ríos o acequias con producto químico o envase usado.  
Envíese a una compañía autorizada para la gestión de desechos.
- Envases contaminados : Vaciar el contenido restante.  
Eliminar como producto no usado.  
No reutilizar los recipientes vacíos.  
No quemar el bidón vacío ni utilizar antorchas de corte con el.

### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

NCh 2190/382

Mercancía no peligrosa

#### Regulación internacional

IATA-DGR

Mercancía no peligrosa

Código-IMDG

Mercancía no peligrosa

Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

No aplicable al producto suministrado.

### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

#### Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Convención Internacional sobre las Armas Químicas (CWC) Programas sobre los Productos Químicos Tóxicos y los Precursores (Louisiana Administrative Code, Title 33, Part V Section 10101 et. seq.) : No aplicable

Ley de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas. : No aplicable

### 16. OTRA INFORMACIÓN

#### Texto completo de otras abreviaturas

(Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); ANTT - Agencia Nacional de Transporte Terrestre de Brasil; ASTM - Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales; bw - Peso corporal; CPR - Regulación para productos controlados; DIN - Norma del Instituto Alemán para la Normalización; ECx - Concentración asociada con respuesta x%; ELx - Tasa de carga asociada con respuesta x%; EmS - Procedimiento de emergencia; ErCx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; ERG - Guía de respuesta ante emergencias; GHS - Sistema Globalmente Armonizado; IARC - Agencia Internacional para la investigación del cáncer;

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sika®-CNI



Versión	Fecha de revisión:	Número MSDS:	Fecha de la última expedición: -
1.0	2015/12/22	00000603380	Fecha de la primera expedición: 2015/12/22

IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización Internacional de Aviación Civil; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISO - Organización Internacional para la Normalización; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; Nch - Norma chilena; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NOM - Norma Oficial Mexicana; NTP - Programa Toxicológico Nacional; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; REACH - Reglamento (EC) No 1907/2006 del Parlamento y Consejo Europeos con respecto al registro, evaluación autorización y restricción de químicos; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SDS - Ficha de datos de seguridad; TDG - Transporte de mercancías peligrosas; UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones para el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo; WHMIS - Sistema de Información de Materiales Peligrosos en el Sitio de Trabajo; DSL - Lista Nacional de Sustancias (Canadá); KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); AICS - Inventario Australiano de Sustancias Químicas; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; ENCS - Sustancias Químicas Existentes y Nuevas (Japón); ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; CMR - Carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; GLP - Buena práctica de laboratorio

La información contenida en este ficha de datos de seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicaran nuestras condiciones generales de venta en vigor. Por favor, consulte la Hoja de Datos del Producto antes de su uso y procesamiento.

EC / ES

# Safety Data Sheet

acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

## 1 Identification

- **Product identifier**
- **Trade name:** MCI@-2005
- **Application of the substance / the mixture** Corrosion inhibitors
- **Details of the supplier of the safety data sheet**
- **Manufacturer/Supplier:**  
Cortec Corporation  
4119 White Bear Parkway  
St. Paul, MN 55110 USA  
Phone (651) 429-1100  
Fax (651) 429-1122
- **Information department:** compliance@cortecvci.com
- **Emergency telephone number:**  
Spill, Leak, Fire, Exposure, or Accident  
24 hour CHEMTREC contact:  
USA and Canada 1-800-424-9300  
International +1-703-527-3887 (collect calls accepted)

## 2 Hazard(s) identification

- **Classification of the substance or mixture**



Skin Irrit. 2 H315 Causes skin irritation.

Eye Irrit. 2A H319 Causes serious eye irritation.

- **Label elements**
- **GHS label elements** The product is classified and labeled according to the Globally Harmonized System (GHS).
- **Hazard pictograms**



- **Signal word** Warning
- **Hazard-determining components of labeling:**  
sodium hydroxide
- **Hazard statements**  
H315 Causes skin irritation.  
H319 Causes serious eye irritation.
- **Precautionary statements**  
P264 Wash thoroughly after handling.  
P280 Wear protective gloves / eye protection / face protection.  
P302+P352 If on skin: Wash with plenty of water.  
P321 Specific treatment (see first aid statements on this label).  
P305+P351+P338 If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.  
P332+P313 If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.  
P362+P364 Take off contaminated clothing and wash it before reuse.  
P337+P313 If eye irritation persists: Get medical advice/attention.

(Contd. on page 2)

USA



## Anexo 24.- Hoja MSDS del inhibidor MCI 2005 Patentado

Page 2/9

### Safety Data Sheet acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI@-2005

(Contd. of page 1)

- Other hazards
- Results of PBT and vPvB assessment
- PBT: Not applicable.
- vPvB: Not applicable.

### 3 Composition/information on ingredients

- Chemical characterization: Mixtures
- Description: Mixture of the substances listed below with nonhazardous additions.

#### · Dangerous components:

	salt of aromatic acid	≥10-<20%
1310-73-2	sodium hydroxide	≥0.5-<2%

#### · Additional information

In accordance with paragraph (i) of the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200), the specific chemical identity and/or exact percentage composition has been withheld as a trade secret.  
For the wording of the listed hazard phrases refer to section 16.

### 4 First-aid measures

- Description of first aid measures
- General information Immediately remove any clothing soiled by the product.
- After inhalation Supply fresh air; consult doctor in case of complaints.
- After skin contact  
Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.  
If skin irritation continues, consult a doctor.
- After eye contact  
Rinse opened eye for several minutes under running water. If symptoms persist, consult a doctor.
- After swallowing If swallowed, rinse mouth with water (only if the person is conscious)
- Information for doctor Show this safety data sheet to the doctor in attendance.
- Most important symptoms and effects, both acute and delayed  
The symptoms and effects are as expected from the hazards shown in section 2. No specific product related symptoms are known.  
No further relevant information available.
- Indication of any immediate medical attention and special treatment needed  
No further relevant information available.

### 5 Fire-fighting measures

- Extinguishing media
- Suitable extinguishing agents Use fire fighting measures that suit the environment.
- Special hazards arising from the substance or mixture  
Carbon monoxide (CO)  
Nitrogen oxides (NOx)
- Advice for firefighters Self-contained breathing apparatus
- Protective equipment:  
Wear self-contained respiratory protective device.  
Wear fully protective suit.

USA  
(Contd. on page 3)

## Safety Data Sheet acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI@-2005

(Contd. of page 2)

### 6 Accidental release measures

- **Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**  
Wear protective clothing.



Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.

- **Environmental precautions:** Do not allow undiluted product to enter sewers/surface or ground water
- **Methods and material for containment and cleaning up:**  
Absorb with liquid-binding material (sand, diatomite, acid binders, universal binders, sawdust).
- **Reference to other sections**  
No dangerous substances are released.  
See Section 7 for information on safe handling  
See Section 8 for information on personal protection equipment.  
See Section 13 for disposal information.

### 7 Handling and storage

- **Handling**
- **Precautions for safe handling**  
Store in cool, dry place in tightly closed receptacles.  
Ensure good ventilation/exhaustion at the workplace.
- **Information about protection against explosions and fires:** No special measures required.
- **Conditions for safe storage, including any incompatibilities**
- **Storage**
- **Requirements to be met by storerooms and receptacles:** No special requirements.
- **Information about storage in one common storage facility:**  
Do not store together with acids.  
Store away from foodstuffs.
- **Further information about storage conditions:**  
Keep product from freezing.  
Keep receptacle tightly sealed.
- **Storage class 12**
- **Specific end use(s)** No further relevant information available.

### 8 Exposure controls/personal protection

- **Additional information about design of technical systems:** No further data; see item 7.
- **Control parameters**
- **Components with limit values that require monitoring at the workplace:**  
The product does not contain any relevant quantities of materials with critical values that have to be monitored at the workplace.
- **Additional information:** The lists that were valid during the creation were used as basis.
- **Exposure controls** Use local exhaust ventilation to control airborne concentrations below exposure limits.
- **Personal protective equipment**
- **General protective and hygienic measures**  
Keep away from foodstuffs, beverages and feed.  
Immediately remove all soiled and contaminated clothing  
Wash hands before breaks and at the end of work.

(Contd. on page 4)

USA





## Safety Data Sheet

acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI@-2005

(Contd. of page 3)

Avoid contact with the eyes and skin.

- **Breathing equipment:**

Not necessary if room is well-ventilated.



Use suitable respiratory protective device in case of insufficient ventilation.

Use suitable respiratory protective device only when aerosol or mist is formed.

Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). To determine the appropriate type of respiratory protection that should be used, a hazard assessment should be performed prior to using the product. Environmental conditions such as ventilation and other contaminants may affect the type of respiratory protection that is chosen.

- **Protection of hands:**

Protective gloves

The glove material has to be impermeable and resistant to the product/ the substance/ the preparation.

Selection of the glove material on consideration of the penetration times, rates of diffusion and the degradation

- **Penetration time of glove material**

The exact break through time has to be found out by the manufacturer of the protective gloves and has to be observed.

- **Protective Gloves I.E., Nitrile, Viton, Neoprene**

- **Eye protection:** Goggles recommended during refilling.

- **Body protection:** Protective work clothing.

### 9 Physical and chemical properties

- **Information on basic physical and chemical properties**

- **General Information**

- **Appearance:**

Form:	Liquid
-------	--------

Color:	Dark brown
--------	------------

· Odor:	Characteristic
---------	----------------

· Odor threshold:	Not determined.
-------------------	-----------------

· pH-value at 20 °C (68 °F):	9.5-11.5 (Neat)
------------------------------	-----------------

- **Change in condition**

Melting point/Melting range:	undetermined
------------------------------	--------------

Boiling point/Boiling range:	undetermined
------------------------------	--------------

· Flash point:	Not applicable
----------------	----------------

· Flammability (solid, gaseous)	Not applicable.
---------------------------------	-----------------

· Decomposition temperature:	Not determined.
------------------------------	-----------------

· Auto igniting:	Product is not selfigniting.
------------------	------------------------------

· Danger of explosion:	Product does not present an explosion hazard.
------------------------	---

- **Explosion limits:**

Lower:	Not determined.
--------	-----------------

Upper:	Not determined.
--------	-----------------

· Vapor pressure at 20 °C (68 °F):	23 hPa (17.3 mm Hg) (*)
------------------------------------	-------------------------

· Density at 20 °C (68 °F):	1.14-1.23 g/cm <sup>3</sup> (9.5-10.3 lbs/gal)
-----------------------------	--

· Relative density	Not determined.
--------------------	-----------------

(Contd. on page 5)

USA

## Safety Data Sheet acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI@-2005

(Contd. of page 4)

· Vapor density	Not determined.
· Evaporation rate	Not determined.
· Solubility in / Miscibility with Water:	Fully miscible
· Partition coefficient (n-octanol/water):	Not determined.
· Viscosity:	
dynamic:	Not determined.
kinematic:	Not determined.
· Other information	The above data are typical values and do not constitute a specification. *Properties have been calculated.

### 10 Stability and reactivity

- **Reactivity** Reacts with acids.
- **Chemical stability** Stable under recommended storage conditions
- **Thermal decomposition / conditions to be avoided:** No decomposition if used according to specifications.
- **Possibility of hazardous reactions** No dangerous reactions known
- **Conditions to avoid** No further relevant information available.
- **Incompatible materials:** Acids
- **Hazardous decomposition products:** No dangerous decomposition products known

### 11 Toxicological information

- **Information on toxicological effects**
- **Acute toxicity:**

· **LD/LC50 values that are relevant for classification:**

**salt of aromatic acid**

Oral	LD50	825 mg/kg (rat)
------	------	-----------------

**1310-73-2 sodium hydroxide**

Oral	LD50	2,000 mg/kg (rat)
------	------	-------------------

· **Primary irritant effect:**

· **on the skin:**

Repeated or prolonged skin contact with this product may produce skin irritation.  
Irritant to skin and mucous membranes.

· **on the eye:**

May be irritating.  
Irritating effect.

· **Sensitization:** No sensitizing effects known.

· **Additional toxicological information:**

The product shows the following dangers according to the calculation method of the General EU Classification Guidelines for Preparations as issued in the latest version:  
Irritant

· **Carcinogenic categories**

· **IARC (International Agency for Research on Cancer)**

IARC Category 3 : Not classifiable as to its carcinogenicity to humans

(Contd. on page 6)

USA

## Safety Data Sheet acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI@-2005

(Contd. of page 5)

· **NTP (National Toxicology Program)**

None of the ingredients is listed.

· **OSHA-Ca (Occupational Safety & Health Administration)**

None of the ingredients is listed.

### 12 Ecological information

· **Toxicity**· **Aquatic toxicity:****1310-73-2 sodium hydroxide**

LC50	125 mg/l (Western mosquitofish ( <i>Gambusia affinis</i> )) (96 hours) 96 hours
EC50	34.59-47.13 mg/l (Water Flea ( <i>Ceriodaphnia dubia</i> )) (48 hours) 48 hours

· **Persistence and degradability** No further relevant information available.· **Behavior in environmental systems:**· **Bioaccumulative potential** No further relevant information available.· **Mobility in soil** No further relevant information available.· **Results of PBT and vPvB assessment**· **PBT:** Not applicable.· **vPvB:** Not applicable.· **Other adverse effects** No further relevant information available.

### 13 Disposal considerations

· **Waste treatment methods**· **Recommendation** Dispose of in accordance with local, state, and federal regulations.· **Uncleaned packagings:**· **Recommendation:** Disposal must be made according to official regulations.· **Recommended cleansing agent:** Water, if necessary with cleansing agents.

### 14 Transport information

· **UN-Number**· **DOT, ADR, ADN, IMDG, IATA** not classified as dangerous goods· **UN proper shipping name**· **DOT, ADR, ADN, IMDG, IATA** not classified as dangerous goods· **Transport hazard class(es)**· **DOT, ADR, ADN, IMDG, IATA**· **Class**

not classified as dangerous goods

· **Packing group**· **DOT, ADR, IMDG, IATA**

not classified as dangerous goods

· **Environmental hazards:**

Not applicable.

(Contd. on page 7)

USA

## Safety Data Sheet

acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI@-2005

(Contd. of page 6)

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| · Special precautions for user  | Not applicable.                   |
| · Transport in bulk according to Annex II of MARPOL73/78 and the IBC Code | Not applicable.                   |
| · UN "Model Regulation":  | not classified as dangerous goods |

### 15 Regulatory information

- Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture
- Sara

<b>· SARA Section 355 (extremely hazardous substances)</b>
--

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· SARA Section 313 (specific toxic chemical listings)</b>
--

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· TSCA (Toxic Substances Control Act)</b>
--

All ingredients are listed.
-----------------------------

<b>· Hazardous Air Pollutants</b>
-----------------------------------

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· Proposition 65</b>
-------------------------

<b>· Prop 65 - Chemicals known to cause cancer</b>
--

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· Chemicals known to cause reproductive toxicity for females</b>
---

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· Chemicals known to cause reproductive toxicity for males</b>
---

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· Chemicals known to cause developmental toxicity</b>
--

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· Cancerogenity categories</b>
-----------------------------------

<b>· EPA (Environmental Protection Agency)</b>
--

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· NIOSH-Ca (National Institute for Occupational Safety and Health)</b>
---

None of the ingredients is listed.
------------------------------------

<b>· Canadian Domestic Substances List (DSL): (Substances not listed)</b>
---

All ingredients are listed.
-----------------------------

<b>· Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances: (Substances not listed)</b>
--

All ingredients are listed.
-----------------------------

<b>· Chinese Chemical Inventory of Existing Chemical Substances: (Substances not listed)</b>
--

All ingredients are listed.
-----------------------------

<b>· Australian Inventory of Chemical Substances: (Substances not listed)</b>
---

All ingredients are listed.
-----------------------------

<b>· New Zealand Inventory of Chemicals: (Substances not listed)</b>
--

All ingredients are listed.
-----------------------------

(Contd. on page 8)

USA



## Safety Data Sheet

acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

Trade name: MCI®-2005

(Contd. of page 7)

· Existing Chemical Substances	
salt of aromatic acid	
sodium hydroxide	1-410

· **GHS label elements** The product is classified and labeled according to the Globally Harmonized System (GHS).

· **Hazard pictograms**



GHS07

· **Signal word** Warning

· **Hazard-determining components of labeling:**

sodium hydroxide

· **Hazard statements**

H315 Causes skin irritation.

H319 Causes serious eye irritation.

· **Precautionary statements**

P264 Wash thoroughly after handling.

P280 Wear protective gloves / eye protection / face protection.

P302+P352 If on skin: Wash with plenty of water.

P321 Specific treatment (see first aid statements on this label).

P305+P351+P338 If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

P332+P313 If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.

P362+P364 Take off contaminated clothing and wash it before reuse.

P337+P313 If eye irritation persists: Get medical advice/attention.

· **Chemical safety assessment:** A Chemical Safety Assessment has not been carried out.

### 16 Other information

This information is based on our present knowledge. However, this shall not constitute a guarantee for any specific product features and shall not establish a legally valid contractual relationship.

Cortec Corporation does not warrant any translation of this SDS not created by Cortec Corporation.

· **Date of preparation / last revision** 02/05/2020 / -

· **Abbreviations and acronyms:**

RID: Règlement international concernant le transport des marchandises dangereuses par chemin de fer (Regulations Concerning the International Transport of Dangerous Goods by Rail)

ICAO: International Civil Aviation Organisation

ADR: Accord européen sur le transport des marchandises dangereuses par Route (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)

IMDG: International Maritime Code for Dangerous Goods

DOT: US Department of Transportation

IATA: International Air Transport Association

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances

ELINCS: European List of Notified Chemical Substances

CAS: Chemical Abstracts Service (division of the American Chemical Society)

LC50: Lethal concentration, 50 percent

LD50: Lethal dose, 50 percent

PBT: Persistent, Bioaccumulative and Toxic

vPvB: very Persistent and very Bioaccumulative

NIOSH: National Institute for Occupational Safety

OSHA: Occupational Safety &amp; Health

TLV: Threshold Limit Value

PEL: Permissible Exposure Limit

REL: Recommended Exposure Limit

(Contd. on page 9)

USA

**Safety Data Sheet**  
acc. to OSHA HCS

Printing date 02/05/2020

Reviewed on 02/28/2019

**Trade name: MCI®-2005**

Skin Irrit. 2: Skin corrosion/irritation – Category 2  
Eye Irrit. 2A: Serious eye damage/eye irritation – Category 2A

(Contd. of page 8)

USA

Anexo 25.- Certificado de calidad del inhibidor de corrosión MCI 2005 Patentado

# Certificate of Compliance

Certificate Number 20091222 – MH25692A  
Report Reference MH25692, 1998 January 02  
Issue Date 2009 December 22

Page 1 of 1



*Issued to:* **CORTEC CORP**

**4119 WHITE BEAR PKY  
ST PAUL, MN 55110 USA**

*This is to certify that  
representative samples of*

**Drinking Water System Components**

**Model Descriptions: "MCI-2005", "MCI-2005 NS", "MCI-2006" and "MCI-2006 NS".**

**FACTORY LOCATION:  
Cortec Corp., St. Paul, MN.**

*Have been investigated by Underwriters Laboratories Inc.® in accordance  
with the Standard(s) indicated on this Certificate.*


*Standard(s) for Safety:*

**The basic standard used to investigate products in this category is ANSI/NSF 61-2007a, "Drinking Water System Components - Health Effects."**

*Additional Information:*

**See UL On-line Certification Directory at [www.ul.com](http://www.ul.com) for additional information.**

Only those products bearing the UL Listing Mark should be considered as being covered by UL's Listing and Follow-Up Service.

The UL Listing Mark generally includes the following elements: the symbol UL in a circle:  with the word "LISTED"; a control number (may be alphanumeric) assigned by UL; and the product category name (product identifier) as indicated in the appropriate UL Directory.

**Look for the UL Listing Mark on the product**

**William R. Carney  
Director, North American Certification Programs**

Underwriters Laboratories Inc.  
Any information and documentation involving UL Mark services are provided on behalf of Underwriters Laboratories Inc. (UL) or any authorized licensee of UL.

For questions, please contact a local UL Customer Service Representative at <http://www.ul.com/global/eng/pages/corporate/contactus/>



## Anexo 26.- Codificación del periodo de iniciación, [Elaboración propia, 2021]

```
from tkinter import ttk
from tab1 import *
from tab2 import *
from tab3 import *
from tab4 import *

class MainApplication(tk.Frame):
    def __init__(self, root):
        super().__init__(root)
        # create a notebook
        notebook = ttk.Notebook(root)
        pad_y = 10
        notebook.pack(pady=pad_y, expand=True)

        # create frames
        datos_iniciales_tab = DatosIni(notebook)
        datos_mezclas = DatosMezclas(notebook)
        datos_perfil = DatosPerfil(notebook,)
        resultados = Resultados(notebook)
        frame5 = ttk.Frame(notebook, width=w, height=h)

        datos_iniciales_tab.pack(fill='both', expand=True)
        datos_mezclas.pack(fill='both', expand=True)
        datos_perfil.pack(fill='both', expand=True)
        resultados.pack(fill='both', expand=True)
        frame5.pack(fill='both', expand=True)

        # add frames to notebook
        notebook.add(datos_iniciales_tab, text='Datos')
        notebook.add(datos_mezclas, text='Mezcla')
        notebook.add(datos_perfil, text='Perfile')
        notebook.add(resultados, text='Resultados')
```

```

        notebook.add(frame5, text='mmm')

# root window
root = tk.Tk()
w = 1300
h = 600
geo = str(w)+'x'+str(h)
root.geometry(geo)
root.title('Tabs Demo')
MainApplication(root).pack(side="top", fill="both", expand=True)
# global diccionario_casos

root.mainloop()

import tkinter as tk
from tkinter import messagebox as mb
import numpy as np
import matplotlib
from scipy.interpolate import make_interp_spline
matplotlib.use("TkAgg")
from matplotlib.figure import Figure
from matplotlib.backends.backend_tkagg import (FigureCanvasTkAgg,
                                                NavigationToolbar2Tk)
from clases_extras import *

class DatosIni(tk.Frame, Info):
    def __init__(self, master):
        super().__init__(master)
        self.columnconfigure(0, weight=1)
        self.columnconfigure(1, weight=1)
        self.rowconfigure(0, weight=1)
        self.leftframe = tk.Frame(self)
        self.leftframe.propagate(0)

```

```

self.rightframe = tk.Frame(self)
self.leftframe.grid(row=0, column=0, sticky="ns")
self.rightframe.grid(row=0, column=1, sticky="ns")

#Left Frame
tk.Label(self.leftframe, text='Csmax').grid(row=0, column=0, padx=5, pady=5)
tk.Label(self.leftframe, text='tmax').grid(row=1, column=0, padx=5, pady=5)
self.Cmax = tk.StringVar()
self.Cmax_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.Cmax).grid(row=0,
column=1, padx=5, pady=5)
self.Cmax.set("3.2")
self.tmax = tk.StringVar()
self.tmax_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.tmax).grid(row=1,
column=1, padx=5, pady=5)
self.tmax.set("10")
tk.Label(self.leftframe, text='%').grid(row=0, column=2, padx=5, pady=5)
tk.Label(self.leftframe, text='año').grid(row=1, column=2, padx=5, pady=5)
self.Graph_Cs_t_button = tk.Button(self.leftframe, text='Graficar',
command=self.graficar_Cs_vs_t)
self.Graph_Cs_t_button.grid(row=3, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)

#Right Frame
meses = ['Enero', 'Febrero', 'Marzo', 'Abril', 'Mayo', 'Junio', 'Julio', 'Agosto',
'Septiembre', 'Octubre', 'Noviembre', 'Diciembre']
temps = [25, 26, 27, 28, 28, 27, 26, 25, 24, 24, 25, 26]
tk.Label(self.rightframe, text='Temperaturas por mes').grid(row=0, column=0,
columnspan=3, padx=5, pady=5)
self.var_temps = []
for i in range(12):
    mes = meses[i]
    var = tk.StringVar()
    tk.Label(self.rightframe, text=mes).grid(row=1+i, column=0, columnspan=1,
padx=5, pady=5)

```

```

mes_entry = tk.Entry(self.rightframe, textvariable=var).grid(row=1+i, column=1,
columnspan=1,
                                padx=5, pady=5)

var.set(str(temps[i]))
self.var_temps.append(var)

#self.temps = tk.StringVar()
#tk.Label(self.rightframe, text='Temperaturas: ').grid(row=0, column=0,
columnspan=3, padx=5, pady=5)
self.temps_entry = tk.Entry(self.rightframe, textvariable=self.temps).grid(row=0,
column=1, columnspan=1, padx=5, pady=5)
self.temps.set("25, 26, 27, 28, 28, 27, 26, 25, 24, 24, 25, 26")
self.check_temps_button = tk.Button(self.rightframe, text='Graficar',
command=self.check_y_plot)
self.check_temps_button.grid(row=13, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)

def graficar_Cs_vs_t(self):
    Cmax = float(self.Cmax.get())
    tmax = int(self.tmax.get())*12
    total = 100 * 12 # 100 años en meses
    Info.Cs_array = []
    Info.times_Cs_array = np.arange(0, total + 1, 1)
    for t in Info.times_Cs_array:
        Cs = self.C_surf(Cmax, t, tmax)
        Info.Cs_array.append(Cs)

frame_plot = tk.Frame(self.leftframe)
frame_plot.grid(row=4, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)
dt_plot = 12*10
ticks_t = np.arange(0, total + 1, dt_plot)
ticks_label_t = np.arange(0, total + 1, dt_plot)//12

fig = Figure(figsize=(5, 3), dpi=100, constrained_layout=True)
ax = fig.add_subplot(111)

```

```

ax.set_xticks(ticks_t) # Donde van los ticks
ax.set_xticklabels(ticks_label_t) # Los valores que remplazan los ticks
ax.set_title('Concentración en la superficie vs tiempo')
ax.set_xlabel('Tiempo [años]')
ax.set_ylabel('Concentración [%]')

ax.plot(Info.times_Cs_array, Info.Cs_array)
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=frame_plot)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack()
toolbar = NavigationToolbar2Tk(canvas, frame_plot)
toolbar.update()
canvas.get_tk_widget().pack()

Info.Cmax = Cmax
Info.tmax = tmax

def check_y_plot(self):
    Info.temps = [float(var.get()) for var in self.var_temps]
    if len(Info.temps) == 12:
        frame_plot = tk.Frame(self.rightframe)
        frame_plot.grid(row=1, column=3, columnspan=1, rowspan=13, padx=5, pady=5)
        Info.times_temps = np.arange(1, 13, 1)
        x_new = np.linspace(1, 12)
        a_BSpline = make_interp_spline(Info.times_temps, Info.temps)
        y_new = a_BSpline(x_new)

        fig = Figure(figsize=(5, 3), dpi=100, constrained_layout=True)
        ax = fig.add_subplot(111)
        ax.set_title('Temperaturas mensuales')
        ax.set_xlabel('Tiempo [meses]')
        ax.set_ylabel('Temperatura °C')

        ax.plot(x_new, y_new)

```

```

ax.plot(Info.times_temps, Info.temps, '**')
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=frame_plot)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack()
toolbar = NavigationToolbar2Tk(canvas, frame_plot)
toolbar.update()
canvas.get_tk_widget().pack()
else:
    mb.showerror("Advertencia", "Deben haber 12 datos")

```

```

def C_surf(self, Cmax, t, tmax=0):
    if tmax == 0:
        C_surf = Cmax
    else:
        if t < tmax:
            C_surf = (Cmax / tmax) * t
        else:
            C_surf = Cmax
    return C_surf

```

```

import tkinter as tk
from tkinter import messagebox as mb
import numpy as np
import matplotlib

matplotlib.use("TkAgg")
from matplotlib.figure import Figure
from matplotlib.backends.backend_tkagg import (FigureCanvasTkAgg,
                                                NavigationToolbar2Tk)
from clases_extras import *

```

```

class DatosMezclas(tk.Frame, Info):
    def __init__(self, master):
        super().__init__(master)
        self.diccionario_casos = {}
        self.columnconfigure(0, weight=1)
        self.columnconfigure(1, weight=1)
        self.rowconfigure(0, weight=1)
        self.rowconfigure(1, weight=1)
        self.leftframe = tk.Frame(self, width=300)
        self.rightframe_up = tk.Frame(self)
        self.rightframe_down = tk.Frame(self)
        self.leftframe.grid(row=0, column=0, rowspan=2, sticky="ns")
        self.rightframe_up.grid(row=0, column=1, sticky="ns")
        self.rightframe_down.grid(row=1, column=1, sticky="ns")

        # Left Frame
        tk.Label(self.leftframe, text='Pesos [kg por m3]').grid(row=0, column=0,
        columnspan=2, padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.leftframe, text='Cemento').grid(row=1, column=0, padx=5, pady=5,
        sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text='Agua').grid(row=2, column=0, padx=5, pady=5,
        sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text='Agregado Fino').grid(row=3, column=0, padx=5,
        pady=5, sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text='Agregado Grueso').grid(row=4, column=0, padx=5,
        pady=5, sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text="").grid(row=5, column=0, padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.leftframe, text='Escoria').grid(row=6, column=0, padx=5, pady=5,
        sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text='Puzolana').grid(row=7, column=0, padx=5, pady=5,
        sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text='Silice').grid(row=8, column=0, padx=5, pady=5,
        sticky="w")
        tk.Label(self.leftframe, text="").grid(row=9, column=0, padx=5, pady=5)

```

```
tk.Label(self.leftframe, text='Aditivo [L por m3]').grid(row=10, column=0, padx=5,
pady=5, sticky="w")
```

```
self.peso_cemento = tk.StringVar()
self.cemento_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_cemento)
self.cemento_entry.grid(row=1, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_cemento.set("100")
self.peso_agua = tk.StringVar()
self.agua_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_agua)
self.agua_entry.grid(row=2, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_agua.set("50")
self.peso_ag_fino = tk.StringVar()
self.ag_fino_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_ag_fino)
self.ag_fino_entry.grid(row=3, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_ag_fino.set("200")
self.peso_ag_grueso = tk.StringVar()
self.ag_grueso_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_ag_grueso)
self.ag_grueso_entry.grid(row=4, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_ag_grueso.set("100")
self.peso_escoria = tk.StringVar()
self.escoria_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_escoria)
self.escoria_entry.grid(row=6, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_escoria.set("0")
self.peso_puzolana = tk.StringVar()
self.puzolana_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_puzolana)
self.puzolana_entry.grid(row=7, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_puzolana.set("0")
self.peso_silice = tk.StringVar()
self.silice_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.peso_silice)
self.silice_entry.grid(row=8, column=1, padx=5, pady=5)
self.peso_silice.set("0")
self.vol_aditivo = tk.StringVar()
self.aditivo_entry = tk.Entry(self.leftframe, textvariable=self.vol_aditivo)
self.aditivo_entry.grid(row=11, column=1, rowspan=3, padx=5, pady=5)
```



```

self.vol_aditivo.set("0")
self.aditivo_entry.configure(state='disabled')

self.adi_opc = tk.IntVar()
rdioOne = tk.Radiobutton(self.leftframe, text='CNI',
                        variable=self.adi_opc, value=1,
                        command=self.cambia_opc_aditivo)
rdioTwo = tk.Radiobutton(self.leftframe, text='Rheocrete',
                        variable=self.adi_opc, value=2,
                        command=self.cambia_opc_aditivo)
rdioThree = tk.Radiobutton(self.leftframe, text='Ninguno',
                        variable=self.adi_opc, value=3,
                        command=self.cambia_opc_aditivo)
rdioOne.grid(column=0, row=11, sticky="w")
rdioTwo.grid(column=0, row=12, sticky="w")
rdioThree.grid(column=0, row=13, sticky="w")
self.adi_opc.set(3)

self.Calcular_button = tk.Button(self.leftframe, text='Calcular',
command=self.calcular_porcentajes)
self.Calcular_button.grid(row=14, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)

# Right Frame UP
tk.Label(self.rightframe_up, text='Cálculos').grid(row=0, column=0, columnspan=2,
padx=5, pady=5)
tk.Label(self.rightframe_up, text='Relacion a/c').grid(row=1, column=0, padx=5,
pady=5, sticky="w")
tk.Label(self.rightframe_up, text='% de escoria').grid(row=2, column=0, padx=5,
pady=5, sticky="w")
tk.Label(self.rightframe_up, text='% de puzolana').grid(row=3, column=0, padx=5,
pady=5, sticky="w")
tk.Label(self.rightframe_up, text='% de silice').grid(row=4, column=0, padx=5,
pady=5, sticky="w")

```

```

self.ac_label = tk.Label(self.rightframe_up, text="", width=10)
self.ac_label.grid(row=1, column=1, padx=5, pady=5, sticky="w")
self.porc_escoria_label = tk.Label(self.rightframe_up, text="", width=10)
self.porc_escoria_label.grid(row=2, column=1, padx=5, pady=5, sticky="w")
self.porc_puzolana_label = tk.Label(self.rightframe_up, text="", width=10)
self.porc_puzolana_label.grid(row=3, column=1, padx=5, pady=5, sticky="w")
self.porc_silice_label = tk.Label(self.rightframe_up, text="", width=10)
self.porc_silice_label.grid(row=4, column=1, padx=5, pady=5, sticky="w")

self.Guardar_button = tk.Button(self.rightframe_up, text='Guardar caso',
command=self.add_caso)
self.Guardar_button.grid(row=3, column=2, padx=5, pady=5)
self.nombre_caso = tk.StringVar()
self.nombre_caso_entry = tk.Entry(self.rightframe_up,
textvariable=self.nombre_caso)
self.nombre_caso_entry.grid(row=2, column=2, padx=5, pady=5)
self.nombre_caso.set("Base")

# Right Frame DOWN
tk.Label(self.rightframe_down, text='Caso').grid(row=0, column=0, padx=5, pady=5)
tk.Label(self.rightframe_down, text='a/c').grid(row=0, column=1, padx=5, pady=5)
tk.Label(self.rightframe_down, text='% escoria').grid(row=0, column=2, padx=5,
pady=5)
tk.Label(self.rightframe_down, text='% puzolana').grid(row=0, column=3, padx=5,
pady=5)
tk.Label(self.rightframe_down, text='% silice').grid(row=0, column=4, padx=5,
pady=5)
tk.Label(self.rightframe_down, text='Aditivo').grid(row=0, column=5, padx=5,
pady=5)

def calcular_porcentajes(self):
    peso_cemento = float(self.peso_cemento.get())
    peso_agua = float(self.peso_agua.get())
    peso_ag_fino = float(self.peso_ag_fino.get())

```

```

peso_ag_grueso = float(self.peso_ag_grueso.get())
peso_escoria = float(self.peso_escoria.get())
peso_puzolana = float(self.peso_puzolana.get())
peso_silice = float(self.peso_silice.get())

self.peso_cementantes = peso_cemento + peso_escoria + peso_puzolana +
peso_silice
self.ac = peso_agua / self.peso_cementantes
self.porc_escoria = (peso_escoria / self.peso_cementantes) * 100
self.porc_puzolana = (peso_puzolana / self.peso_cementantes * 100)
self.porc_silice = (peso_silice / self.peso_cementantes) * 100

self.ac_label.config(text=round(self.ac, 2))
self.porc_escoria_label.config(text=round(self.porc_escoria, 2))
self.porc_puzolana_label.config(text=round(self.porc_puzolana, 2))
self.porc_silice_label.config(text=round(self.porc_silice, 2))

def add_caso(self):
    nombre_caso = self.nombre_caso.get()
    vol_aditivo = float(self.vol_aditivo.get())
    tipo_aditivo = self.adi_opc.get()
    Info.diccionario_casos[nombre_caso] = [self.ac, self.porc_escoria,
self.porc_puzolana, self.porc_silice,
                                vol_aditivo, tipo_aditivo]
    row = 0
    for caso in Info.diccionario_casos:
        row += 1
        ac = round(Info.diccionario_casos[caso][0], 2)
        porc_escoria = round(Info.diccionario_casos[caso][1], 2)
        porc_puzolana = round(Info.diccionario_casos[caso][2], 2)
        porc_silice = round(Info.diccionario_casos[caso][3], 2)
        cantidad_adi = round(Info.diccionario_casos[caso][4], 2)
        tipo_adi = round(Info.diccionario_casos[caso][5], 2)
        if tipo_adi == 1:

```

```

        texto_adi = 'CNI ('+str(cantidad_adi)+' L)'
    elif tipo_adi == 2:
        texto_adi = 'Rheocrete (' + str(cantidad_adi) + ' L)'
    elif tipo_adi == 3:
        texto_adi = '-'

        tk.Label(self.rightframe_down, text=caso).grid(row=row, column=0, padx=5,
pady=5)
        tk.Label(self.rightframe_down, text=ac).grid(row=row, column=1, padx=5,
pady=5)
        tk.Label(self.rightframe_down, text=porc_escoria).grid(row=row, column=2,
padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.rightframe_down, text=porc_puzolana).grid(row=row, column=3,
padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.rightframe_down, text=porc_silice).grid(row=row, column=4,
padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.rightframe_down, text=texto_adi).grid(row=row, column=5, padx=5,
pady=5)

print(Info.diccionario_casos)

def cambia_opc_aditivo(self):
    opcion_aditiv = self.adi_opc.get()
    if opcion_aditiv == 1:
        self.aditivo_entry.configure(state='normal')
    elif opcion_aditiv == 2:
        self.vol_aditivo.set("5")
        self.aditivo_entry.configure(state='disabled')
    elif opcion_aditiv == 3:
        self.vol_aditivo.set("0")
        self.aditivo_entry.configure(state='disabled')

import tkinter as tk
from tkinter import messagebox as mb

```

```

import numpy as np
import matplotlib
matplotlib.use("TkAgg")
from matplotlib.figure import Figure
from matplotlib.backends.backend_tkagg import (FigureCanvasTkAgg,
                                              NavigationToolbar2Tk)

from PIL import ImageTk, Image
from classes_extras import *

class DatosPerfil(tk.Frame, Info):
    def __init__(self, master):
        super().__init__(master)
        self.columnconfigure(0, weight=1)
        self.columnconfigure(1, weight=1)
        self.rowconfigure(0, weight=1)
        self.leftframe = tk.Frame(self)
        self.leftframe.propagate(0)
        self.rightframe = tk.Frame(self)
        self.leftframe.grid(row=0, column=0)
        self.rightframe.grid(row=0, column=1)
        self.left_1 = tk.Frame(self.leftframe)
        self.left_2 = tk.Frame(self.leftframe)
        self.left_1.grid(row=0, column=0, sticky="n")
        self.left_2.grid(row=0, column=1, sticky="n")

        #Left Frame1
        tk.Label(self.left_2, text='h').grid(row=0, column=0, padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.left_2, text='b').grid(row=1, column=0, padx=5, pady=5)
        tk.Label(self.left_2, text='rec').grid(row=2, column=0, padx=5, pady=5)
        self.h = tk.StringVar()
        self.h_entry = tk.Entry(self.left_2, textvariable=self.h).grid(row=0, column=1,
        padx=5, pady=5)
        self.h.set("300")
        self.b = tk.StringVar()

```

```

self.b_entry = tk.Entry(self.left_2, textvariable=self.b).grid(row=1, column=1,
padx=5, pady=5)
self.b.set("300")
self.rec = tk.StringVar()
self.rec_entry = tk.Entry(self.left_2, textvariable=self.rec).grid(row=2, column=1,
padx=5, pady=5)
self.rec.set("50")
self.set_profile_button = tk.Button(self.left_2, text='Set',
command=self.setear_datos_perfil, width=10) #
self.set_profile_button.grid(row=4, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)

tk.Label(self.left_2, text='mm').grid(row=0, column=2, padx=5, pady=5)
tk.Label(self.left_2, text='mm').grid(row=1, column=2, padx=5, pady=5)
tk.Label(self.left_2, text='mm').grid(row=2, column=2, padx=5, pady=5)

#Left Frame2
self.radioValue = tk.IntVar()
rdioOne = tk.Radiobutton(self.left_1, text='Columnas/Vigas',
variable=self.radioValue, value=1,
command=self.cambio_opc_perfil)
rdioTwo = tk.Radiobutton(self.left_1, text='Muro/Losa',
variable=self.radioValue, value=2,
command=self.cambio_opc_perfil)

rdioOne.grid(column=0, row=0, sticky="w")
rdioTwo.grid(column=0, row=1, sticky="w")

self.radioValue.set(1)

#Right Frame

self.img_perfil = ImageTk.PhotoImage(Image.open('beam_col.png'))
self.img_perfil_label = tk.Label(self.rightframe, image=self.img_perfil, width=300)
self.img_perfil_label.pack()

```

```

def setear_datos_perfil(self):
    Info.max_x = float(self.h.get())
    Info.max_y = float(self.b.get())
    Info.rec = float(self.rec.get())
    Info.opc_perfil = self.radioValue.get()

def cambio_opc_perfil(self):
    opc_perfil = self.radioValue.get()
    if opc_perfil == 1:
        self.img_perfil = ImageTk.PhotoImage(Image.open('beam_col.png'))
    elif opc_perfil == 2:
        self.img_perfil = ImageTk.PhotoImage(Image.open('wall_slab.png'))
    self.img_perfil_label.config(image=self.img_perfil)

import tkinter as tk
from tkinter import messagebox as mb
import numpy as np
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
import math
from cycler import cycler
matplotlib.use("TkAgg")
from matplotlib.figure import Figure
from matplotlib.backends.backend_tkagg import (FigureCanvasTkAgg,
                                                NavigationToolbar2Tk)
from clases_extras import *

class Resultados(tk.Frame, Info):
    def __init__(self, master):
        super().__init__(master)
        self.columnconfigure(0, weight=1)
        self.columnconfigure(1, weight=1)
        self.rowconfigure(1, weight=1)

```

```

self.rowconfigure(2, weight=1)
self.topframe = tk.Frame(self)
self.leftframe = tk.Frame(self)
self.rightframe = tk.Frame(self)
self.topframe.grid(row=0, column=0, columnspan=2)
self.leftframe.grid(row=1, column=0, sticky="ns")
self.rightframe.grid(row=1, column=1, sticky="ns")

#Top Frame
self.ejecutar_button = tk.Button(self.topframe, text='Ejecutar',
command=self.mostrar_resultados)
self.ejecutar_button.pack()

def mostrar_resultados(self):
    default_cycler = (cycler(color=['#1f77b4', '#ff7f0e', '#2ca02c', '#d62728']) +
                    cycler(linestyle=['-', '--', ':', '-.']))

# LEFT FRAME UP
frame_plot = tk.Frame(self.leftframe)
frame_plot.grid(row=0, column=0, padx=5, pady=5)

# RIGHT FRAME UP
frame_plot2 = tk.Frame(self.rightframe)
frame_plot2.grid(row=0, column=0, padx=5, pady=5)

# LEFT FRAME DOWN
frame_plot3 = tk.Frame(self.leftframe)
frame_plot3.grid(row=1, column=0, padx=5, pady=5)

# RIGHT FRAME DOWN
frame_tabla = tk.Frame(self.rightframe)
frame_tabla.grid(row=1, column=0, padx=5, pady=5)

Cmax = Info.Cmax

```



```
tmax = Info.tmax
```

```
total = 100
```

```
data_plots = {}
```

```
for caso in Info.diccionario_casos: # Por cada caso a analizar, se obtiene datos  
diferentes para los plots
```

```
ac = Info.diccionario_casos[caso][0]
```

```
SG = Info.diccionario_casos[caso][1] #slag (escoria)
```

```
FA = Info.diccionario_casos[caso][2] #fly ash (puzulana)
```

```
SF = Info.diccionario_casos[caso][3] #silica fume (silice)
```

```
CANT_ADI = Info.diccionario_casos[caso][4]
```

```
TIPO_ADI = Info.diccionario_casos[caso][5]
```

```
temp_real = Info.temps
```

```
# print(temp_real)
```

```
D28 = 1 * 10 **(-12.06+2.40*ac) # m2/s
```

```
m = 0.2 + 0.4*(FA/50 + SG/70) #alfa
```

```
D_SF = D28*np.exp(-0.165*SF) #m2/s
```

```
D_RCM0 = D_SF * (1000 ** 2) * (30*24*3600) #mm2/mes
```

```
T_ref = 293 # 20
```

```
t_0 = 0.933 #28 dias en un mes (asumiendo 30 días por mes)
```

```
b_e = 4800 # Mean. Varian entre 3500 a 5500. m = 4800, s = 700. Dist. normal.
```

```
k_t = 1
```

```
dx = 10 # mm
```

```
dy = 10 # mm
```

```
dt = 1 # month
```

```
max_x = Info.max_x/2 # mm
```

```
max_y = Info.max_y/2 # mm
```

```
X_array = np.arange(0, max_x + 1, dx)
```

```

num_X = len(X_array)
Y_array = np.arange(0, max_y + 1, dy)
num_Y = len(Y_array)

loc_x = list(X_array).index(Info.rec)
loc_y = list(Y_array).index(Info.rec)
# loc_x_y = np.full([num_Y, num_X], False)
# loc_x_y[loc_y, loc_x] = True
# flat_loc = loc_x_y.flatten()
# pos_rec_vector = list(flat_loc).index(True)

t = 0
C_s = self.C_surf(Cmax, t, tmax)
C_0 = 0
Concentracion = np.ones([num_X, num_Y]) * C_0
Concentracion[0, :] = C_s
Concentracion[:, 0] = C_s

if TIPO_ADI == 1:
    liter_dose = [0, 10, 15, 20, 25, 30]
    Ct_dose = [0.05, 0.15, 0.24, 0.32, 0.37, 0.40]
    C_t = np.interp(CANT_ADI, liter_dose, Ct_dose)
elif TIPO_ADI == 2:
    C_t = 0.12
elif TIPO_ADI == 3:
    C_t = 0.05

D_appC_array = [D_RCM0]
t_array = [t]
mes = 0
old_Conc = Concentracion
iteraciones = 0
while True:
    t += dt

```

```

T_real = temp_real[mes] + 298
# T_real = T_ref
mes += 1
if mes >= 12:
    mes = 0
k_e = np.exp(b_e * (1 / T_ref - 1 / T_real))
At = (t_0 / t) ** m
D_appC = k_e * D_RCM0 * k_t * At
# self.D_appCx = D_appC
# self.D_appCy = D_appC

r = D_appC*dt/(2*dx)**2

Conc = np.zeros([num_X, num_Y])
C_s = self.C_surf(Cmax, t, tmax)
Conc[0, :] = C_s
Conc[:, 0] = C_s
new_Conc = self.find_next_U(r, old_Conc, C_s)
Conc[1:,1:] = new_Conc

Concentracion = np.dstack((Concentracion, Conc))
old_Conc = Conc
D_appC_array.append(D_appC)
t_array.append(t) # Tiempo
iteraciones += 1
if iteraciones % 1000 == 0:
    print('Van ya '+str(iteraciones)+' iteraciones')
    extremo_rec = Concentracion[loc_y, loc_x, :]
    print(np.shape(Concentracion))
    plt.plot(t_array, extremo_rec) # Punto de interés
    plt.show()
if Conc[num_X - 1, num_Y - 1] >= C_t:
    break

```

```

data_plots[caso] = [t_array, D_appC_array, Concentracion]

plt.rc('axes', prop_cycle=default_cycler)

fig = Figure(figsize=(5, 3), dpi=100, constrained_layout=True)
ax = fig.add_subplot(111)

fig2 = Figure(figsize=(5, 3), dpi=100, constrained_layout=True)
ax2 = fig2.add_subplot(111)

fig3 = Figure(figsize=(5, 3), dpi=100, constrained_layout=True)
ax3 = fig3.add_subplot(111)

ticks_t = [0.12, 1.2, 12, 120, 1200]
ticks_label_t = [0.01, 0.1, 1, 10, 100]
ax.set_xticks(ticks_t) # Donde van los ticks
ax.set_xticklabels(ticks_label_t) # Los valores que remplazan los ticks
ax.set_title('log(Dapp) vs tiempo')
ax.set_xlabel('Tiempo [años]')
ax.set_ylabel('Dapp [mm2/mes]')
ax.grid()

ax2.set_title('Concentración vs tiempo')
ax2.set_xlabel('Tiempo [años]')
ax2.set_ylabel('Concentración [%]')

ax3.set_title('Dapp vs tiempo')
ax3.set_xlabel('Tiempo [años]')
ax3.set_ylabel('Dapp [mm2/mes]')

legenda = list(data_plots.keys())
maximo_tiempo = 0
for caso in data_plots:

```

```

tiempo = data_plots[caso][0]
if maximo_tiempo < max(tiempo):
    maximo_tiempo = max(tiempo)

difusion = data_plots[caso][1]
concentracion = data_plots[caso][2]

_, _, num_T = np.shape(concentracion)
extremo_rec = concentracion[num_X - 1, num_Y - 1, :]

ax.semilogx(tiempo[1:], difusion[1:])
ax2.plot(tiempo, extremo_rec) # Punto de interés
ax3.plot(tiempo[1:], difusion[1:])

ax.legend(legenda, loc='upper right')

ticks_t2 = []
ticks_label_t2 = []
aux_t = 0
intervalo = 1
month_in_year = 12
tiempo_array = np.arange(0, maximo_tiempo + 1, month_in_year * intervalo)
for t in tiempo_array:
    ticks_t2.append(t)
    ticks_label_t2.append(aux_t)
    aux_t += intervalo
ax2.set_xticks(ticks_t2) # Donde van los ticks
ax2.set_xticklabels(ticks_label_t2) # Los valores que remplazan los ticks
ax2.legend(legenda, loc='upper left')
ax2.grid()

ax3.set_xticks(ticks_t2) # Donde van los ticks
ax3.set_xticklabels(ticks_label_t2) # Los valores que remplazan los ticks
ax3.legend(legenda, loc='upper right')

```

```

ax3.grid()

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=frame_plot)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack()
toolbar = NavigationToolbar2Tk(canvas, frame_plot)
toolbar.update()
canvas.get_tk_widget().pack()

canvas2 = FigureCanvasTkAgg(fig2, master=frame_plot2)
canvas2.draw()
canvas2.get_tk_widget().pack()
toolbar2 = NavigationToolbar2Tk(canvas2, frame_plot2)
toolbar2.update()
canvas2.get_tk_widget().pack()

canvas3 = FigureCanvasTkAgg(fig3, master=frame_plot3)
canvas3.draw()
canvas3.get_tk_widget().pack()
toolbar3 = NavigationToolbar2Tk(canvas3, frame_plot3)
toolbar3.update()
canvas3.get_tk_widget().pack()

# TABLE
tk.Label(frame_tabla, text='Tiempo de iniciación').grid(row=0, column=0,
columnspan=2, padx=5, pady=5)
tk.Label(frame_tabla, text='Caso').grid(row=1, column=0, padx=5, pady=5)
tk.Label(frame_tabla, text='Años').grid(row=1, column=1, padx=5, pady=5)
i = 2
for caso in data_plots:
    tiempo_array = data_plots[caso][0]
    ultimo_t = round(tiempo_array[-1]/12, 2) #años
    tk.Label(frame_tabla, text=caso).grid(row=i, column=0, padx=5, pady=5)
    tk.Label(frame_tabla, text=ultimo_t).grid(row=i, column=1, padx=5, pady=5)

```

```
i += 1
```

```
def C(self, x, y, t, C_s, C_0):  
    return C_0 + (C_s - C_0) * (1 - math.erf((x) / (2 * math.sqrt(self.D_appCx * t))) *  
    math.erf((y) / (2 * math.sqrt(self.D_appCy * t))))
```

```
def C_surf(self, Cmax, t, tmax=0):  
    if tmax == 0:  
        C_surf = Cmax  
    else:  
        if t < tmax:  
            C_surf = (Cmax / tmax) * t  
        else:  
            C_surf = Cmax  
    return C_surf
```

```
def find_next_U(self, r, old_U, new-Cs):  
    filas, cols = np.shape(old_U)  
    # print(filas, cols)  
    num_variables = (filas-1) * (cols-1)  
    A = np.empty(shape=(0, filas * cols))  
    BU = np.empty(shape=(0, 1))  
    for i in range(1, filas):  
        for j in range(1, cols):  
            matriz_aux = np.zeros([filas, cols])  
            if i == filas - 1 and j == cols - 1: # interior(d)  
                u_right = (1 - 2 * r) * old_U[i, j] + (r / 2) * (  
                    old_U[i - 1, j] + old_U[i - 1, j] + old_U[i, j - 1] + old_U[i, j - 1])  
                matriz_aux[i, j] = (1 + 2 * r)  
                matriz_aux[i - 1, j] = (-r / 2) * 2  
                # matriz_aux[i - 1, j] = -r / 2  
                matriz_aux[i, j - 1] = (-r / 2) * 2  
                # matriz_aux[i, j - 1] = -r / 2
```

```

elif i == filas - 1: # interior(c)
    u_right = (1 - 2 * r) * old_U[i, j] + (r / 2) * (
        old_U[i - 1, j] + old_U[i - 1, j] + old_U[i, j - 1] + old_U[i, j + 1])
    matriz_aux[i, j] = (1 + 2 * r)
    matriz_aux[i - 1, j] = (-r / 2) * 2
    # matriz_aux[i - 1, j] = -r / 2
    matriz_aux[i, j - 1] = -r / 2
    matriz_aux[i, j + 1] = -r / 2
elif j == cols - 1: # interior(b)
    u_right = (1 - 2 * r) * old_U[i, j] + (r / 2) * (
        old_U[i - 1, j] + old_U[i + 1, j] + old_U[i, j - 1] + old_U[i, j - 1])
    matriz_aux[i, j] = (1 + 2 * r)
    matriz_aux[i - 1, j] = -r / 2
    matriz_aux[i + 1, j] = -r / 2
    matriz_aux[i, j - 1] = (-r / 2) * 2
    # matriz_aux[i, j - 1] = -r / 2
else: # interior(a)
    u_right = (1 - 2 * r) * old_U[i, j] + (r / 2) * (
        old_U[i - 1, j] + old_U[i + 1, j] + old_U[i, j - 1] + old_U[i, j + 1])
    matriz_aux[i, j] = (1 + 2 * r)
    matriz_aux[i - 1, j] = -r / 2
    matriz_aux[i + 1, j] = -r / 2
    matriz_aux[i, j - 1] = -r / 2
    matriz_aux[i, j + 1] = -r / 2
vector_horizontal = matriz_aux.flatten()
A = np.vstack([A, vector_horizontal])
BU = np.vstack([BU, u_right])
# print(np.shape(A))
matriz_bool = np.full([filas, cols], True)
matriz_bool[0, :] = False
matriz_bool[:, 0] = False
num_r = np.count_nonzero(matriz_bool == False)
free = matriz_bool.flatten() # indices de los libres (free)
A_ff = A[:, free]

```



```
A_fr = A[:, ~free]
Ur = np.ones([num_r, 1]) * new_Cs
Uf = np.matmul(np.linalg.inv(A_ff), BU - np.matmul(A_fr, Ur))
# U_left = np.matmul(np.linalg.inv(A), BU)
U_new = np.reshape(Uf, (filas - 1, cols - 1))
# print(A)
return U_new
```

class Info:

```
diccionario_casos = {}
Cs_array = []
times_Cs_array = []
temps = []
times_temps = []
max_x = 0
max_y = 0
```

**Anexo 27.- Codificación del periodo de propagación (Código principal), [Elaboración propia, 2021]**

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math as m
import Funciones as f

# Primera parte: Variación del ancho de la grieta en el periodo de corrosión
#DATOS
r=40          #c= Recubrimiento [mm]
fi=20         #fi= Diámetro de la varilla [mm]
lcorr=2.7     #lcorr= Velocidad de corrosión [uA/cm2]
u=r/fi       #u= Relación entre c y fi [adimensional]
p_acero=8     #p_acero= densidad del acero de refuerzo [Ton/m3]
p_oxido=3.6   #p_oxido= densidad del material oxidado [Ton/m3]
alfa=(p_acero/p_oxido)
Ao=m.pi*pow(fi,2)/4
print(Ao)

# Rango de tiempo
ti=0
tf=16
paso=1
t=np.arange(ti,tf+paso,paso)
D_t=fi-0.023*lcorr*t
Ar=m.pi*pow(D_t,2)/4      #Área resultante en función del tiempo [cm2]
t_ticks=np.arange(ti,tf+1,1)
t_labels = [str(i) for i in t_ticks]

#Gráfico variación del área del acero con respecto al periodo de corrosión
f1 = plt.figure(1)
plt.plot(t, Ar, color='blue')
plt.grid()
plt.title("Variación del área transversal del acero de refuerzo")
```

```

plt.xlabel('t [año]')
plt.xticks(t_ticks, t_labels)
plt.xlim(0, tf+1)
plt.ylabel('Área transversal del acero de refuerzo [mm2]')
#plt.show()

#Cálculo de variación del esfuerzo del concreto vs la deformación unitaria
fc_p=350
fy=4200
ec=np.arange(0,0.0041,0.0001)
fc=[]
fc_1=0
for i in ec:
    fc_1=f.grafica_fc(fc_1,i,fc_p)
    fc.append(fc_1)

fc=np.array(fc)

#Cálculo de variación del esfuerzo del acero vs la deformación unitaria
fy=4200          #fy= esfuerzo de fluencia, [kg/cm2]
fsm=6000        #fsm= esfuerzo máximo, [kg/cm2]
fsuu=5400       #fsuu= esfuerzo de falla, [kg/cm2]
Es=2*pow(10,6)  #Es= Módulo de elasticidad, [kg/cm2]
ey=fy/Es        #ey= Deformación unitaria al alcanzar la fluencia
esh=0.008
esm=0.10
esuu=0.1754
p=3.5
fs_1=0
es=np.arange(0,esuu,0.0001)
fs=[]
for i in es:
    fs_1=f.grafica_fy(fs_1,i,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)
    fs.append(fs_1)

```

```
fs=np.array(fs)
```

```
#Gráfico variación del f'c
```

```
ec_ticks=np.arange(0,0.0045,0.0005)
```

```
ec_labels = [str(i) for i in ec_ticks]
```

```
f2 = plt.figure(2)
```

```
plt.plot(ec, fc,'b--')
```

```
plt.title('Diagrama Esfuerzo-Deformación [Hormigón no confinado]')
```

```
plt.grid()
```

```
plt.xlabel('Deformación unitaria [adm]')
```

```
plt.xticks(ec_ticks, ec_labels)
```

```
plt.xlim(0, 0.0041)
```

```
plt.ylabel('Resistencia del hormigón a la compresión fc [kg/cm2]')
```

```
plt.show()
```

```
#Gráfico variación del fy
```

```
es_ticks=np.arange(0,esuu,0.05)
```

```
es_labels = [str(i) for i in es_ticks]
```

```
f3 = plt.figure(3)
```

```
plt.plot(es,fs,color='green')
```

```
plt.title("Diagrama Esfuerzo-Deformación [Acero de refuerzo]")
```

```
plt.grid()
```

```
plt.xlabel('Deformación unitaria [adm]')
```

```
plt.xticks(es_ticks, es_labels)
```

```
plt.xlim(0, esuu+0.05)
```

```
plt.ylabel('Resistencia del acero de refuerzo fy [kg/cm2]')
```

```

#----- Cálculo del diagrama Momento - Curvatura -----
#Se escoge 4 puntos de análisis
Momentos=np.zeros((len(t),4))
Curvaturas=np.zeros((len(t),4))
Valores_c=np.zeros((len(t),4))
print(Momentos)
nv_s=4
nv_i=4

#Datos de la viga
h=50          #h=altura de la viga en [cm]
b=30          #b=base de la viga en [cm]
d=h-(r/10)-(fi/20)    #d=peralte efectivo para el acero inferior en [cm]
d_p=(r/10)+(fi/20)    #d_p=peralte efectivo para el acero superior en [cm]
Ec=15100*pow(fc_p,1/2) #Ec=Módulo de Elasticidad del concreto en [kg/cm2]
fr=2*pow(fc_p,1/2)
n=Es/Ec
j=0
for i in t:
    #PERIODO INICIO DEL AGRIETAMIENTO
    #Datos
    As_s=nv_s*(Ar[i]/100)
    As_i=nv_i*(Ar[i]/100)
    c=(b*h*(h/2)+(n-1)*As_s*d_p+(n-1)*As_i*d)/(b*h+(n-1)*As_s+(n-1)*As_i)
    I=(1/12)*b*pow(h,3)+(b*h*((h/2)-c)**2)+(n-1)*As_s*((c-d_p)**2)+(n-1)*As_i*(c-
d)**2

    #Cálculo del momento justo antes del agrietamiento
    M_fr=(fr*(I/(h-c)))/pow(10,5)    #M_fr= Momento de fisuración en [T*m]
    #Cálculo de la curvatura
    fc_2=0
    ec1=f.sol_fr(fr,fc_p,0.001,0)
    #print("Este es el verdadero valor de ec: ",ec1)
    #print("El momento de fisuramiento es: ",M_fr)

```

Cur1=ec1\*100/(h-c) #Curv1=Curvatura en el momento antes del agrietamiento en [1/m]

#print("La curvatura: ",Cur1)

Momentos[j,1]=M\_fr

Curvaturas[j,1]=Cur1\*1000

Valores\_c[j,1]=c/100

#PERIODO DE FLUENCIA

c2=f.sol\_fy(c,0,b,d,d\_p,fc\_p,fy,Es,As\_i,As\_s)

ec2=(0.002\*c2)/(d-c2)

a=f.alpha(0,ec2)

Cc=a\*fc\_p\*b\*c2

es1=(0.002\*(c2-d\_p))/(d-c2)

fs\_1=Es\*es1

S1=fs\_1\*As\_s

M\_fy=(Cc\*f.ganma(0,ec2)\*c2-S1\*(d\_p-c2)+fy\*As\_i\*(d-c2))/pow(10,5)

#print("El momento nominal es: ",M\_fy)

Cur2=ec2\*100/(c2)

#print("La curvatura es: ",Cur2)

Momentos[j,2]=M\_fy

Curvaturas[j,2]=Cur2\*1000

Valores\_c[j,2]=c2/100

#PERIODO DE ROTURA TEORICA

c3=f.sol\_eu(c2,0,0.003,b,d,d\_p,fc\_p,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p,As\_i,As\_s)

Cur3=0.003\*100/c3

#print("La curvatura es: ",Cur3)

a=f.alpha(0,0.003)

Cc=a\*fc\_p\*b\*c2

es1\_2=(0.003\*(c3-d\_p))/(c3)

es2=(0.003\*(d-c3))/(c3)

fs1=f.grafica\_fy(0,es1\_2,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)

fs2=f.grafica\_fy(0,es2,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)

```

S1=fs1*As_s
S2=fs2*As_i
Mu=(Cc*f.ganma(0,0.003)*c3-S1*(d_p-c3)+S2*(d-c3))/pow(10,5)
#print("El momento último es: ",Mu)
Momentos[j, 3] = Mu
Curvaturas[j, 3] = Cur3*1000
Valores_c[j,3]=c3/100
j=j+1

print("La matriz de momentos: ",Momentos)
print("La matriz de curvaturas: ", Curvaturas)
print("La matriz de los valores de c: ",Valores_c)

#CREACIÓN DE LA GRÁFICA MOMENTO-CURVATURA

cur_ticks=np.arange(0,(Curvaturas[3,3])+5,2.5)
cur_labels = [str(i) for i in cur_ticks]

f4 = plt.figure()
print(Curvaturas[0,:])
print(type(Curvaturas[0,:]))
plt.plot(Curvaturas[0,:],Momentos[0,:], color="red", label="A los "+str(t[0])+
años\nMomento nominal: "+str(round(Momentos[0,2],2))+ " Ton*m")
plt.plot(Curvaturas[5,:],Momentos[5,:], color="yellow", label="A los "+str(t[5])+
años\nMomento nominal: "+str(round(Momentos[5,2],2))+ " Ton*m")
plt.plot(Curvaturas[10,:],Momentos[10,:], color="blue",label="A los "+str(t[10])+
años\nMomento nominal: "+str(round(Momentos[10,2],2))+ " Ton*m")
plt.plot(Curvaturas[15,:],Momentos[15,:], color="green", label="A los "+str(t[15])+
años\nMomento nominal: "+str(round(Momentos[15,2],2))+ " Ton*m")
plt.grid()
plt.title("Diagrama Momento-Curvatura de la sección")
plt.xlabel('Curvatura x 10^-3 [1/m]')
plt.xticks(cur_ticks, cur_labels)
plt.xlim(0, Curvaturas[3,3]+5)

```

```

plt.ylabel('Momento resistente [Ton*m]')
plt.legend(loc=4)
plt.show()

#Cálculo de ancho de grieta por flexión
M_servicio=2.5
Beta=1.20
es_g=np.zeros((1,len(t)))
w1=np.zeros((1,len(t)))
for i in t:

es_g[0,i]=f.determinacion_es(Momentos,Curvaturas,Valores_c,M_servicio,i,d/100)

A=(b*h/2)/(pow(2.54,2)*nv_i)
dc=r/25.4
for i in t:
    w1[0,i]=(2.2*Beta*es_g[0,i]*pow(dc*A,1/3))*25.4
print(w1)

#Cálculo de ancho de grieta por corrosión
w2=np.zeros((1,len(t)))
for i in t:
    w2[0,i]=((alfa-1)*m.pi*fi*(fi-D_t[i])/(((fi/2)/((fi/2)+r))+1)*r)

wt=np.zeros((1,len(t)))
for i in t:
    wt[0,i]=w1[0,i]+w2[0,i]

t_años=np.zeros((1,len(t)))
for i in t:
    t_años[0,i]=t[i]
print("El vector t_años es: ",t_años)

```



```
vector_limite=0.4*np.ones((1,len(t)))
```

```
#Gráfica del ancho de grieta vs tiempo
```

```
f5 = plt.figure()
```

```
#plt.plot(t_años[0:],w1[0:], color="green", label="Propagación del ancho de grieta  
generado por flexión ")
```

```
#plt.plot(t_años[0:],w2[0:], color="blue", label="Propagación del ancho de grieta  
generado por corrosión ")
```

```
plt.plot(t_años[0:],wt[0:], color="blue", label="Propagación del ancho de grieta general  
[mm]")
```

```
plt.grid()
```

```
plt.title("Evolución del ancho de grieta durante el periodo de propagación")
```

```
plt.xlabel('Tiempo[años]')
```

```
plt.xticks(t_ticks,t_labels)
```

```
plt.xlim(0, tf+1)
```

```
plt.ylabel('Ancho de grieta (ACI) [mm]')
```

```
plt.plot(t_años[0:],vector_limite[0:], "r--", label="Limite admisible de ancho de grieta")
```

```
plt.legend(loc=4)
```

```
plt.show()
```

**Anexo: Codificación del periodo de propagación (Funciones), [Elaboración propia, 2021]**

```
def Coeficiente_K(lcorr):
    p=(20.35-15.26)/(-0.5*(10**-3))
    k=p*(lcorr-(1.5*(10**-3)))+20.35
    return k

def grafica_fc(fc_1,e,fc_p):
    if 0<=e<0.002:
        fc_1=fc_p*(((2*e)/0.002)-pow(((e)/0.002),2))
    elif 0.002<=e<=0.004:
        fc_1=fc_p*(1-0.15*(1/0.002)*(e-0.002))
    return fc_1

def grafica_dfc(dfc_1,e,fc_p):
    if 0<=e<0.002:
        dfc_1=fc_p*((2/0.002)-(2*e/0.002))
    elif 0.002<=e<=0.004:
        dfc_1=-0.15*fc_p*(1/0.002)
    return dfc_1

def sol_fr(fr,fc_p,eo,e1):
    tol=10
    i=eo
    j=e1
    while tol>=0.00001:
        if 0<=i<0.002:
            j=i-((grafica_fc(0,i,fc_p)-fr)/grafica_dfc(0,i,fc_p))
            tol=abs(j-i)
            i=j
        elif 0.002 <= i <= 0.004:
            j=i-((grafica_fc(0,i,fc_p)-fr)/grafica_dfc(0,i,fc_p))
            tol=abs(j-i)
```

```

    i=j
return j

```

```

def alpha(a,e):
    if 0<=e<0.002:
        a=(e*(3*0.002-e))/(3*pow(0.002,2))
    elif 0.002<=e<=0.004:
        a=(40*0.002*0.004-31*pow(0.002,2)-
120*e*0.004+102*e*0.002+9*pow(e,2))/(120*e*(-0.002))
    return a

```

```

def dalpha(da,e,de):
    if 0<=e<0.002:
        da=(de*(3*0.002-2*e))/(3*pow(0.002,2))
    elif 0.002<=e<=0.004:
        da=de*(-120*0.004+102*0.002+18*e)/(120*e*(-0.002))-(de*(40*0.002*0.004-
31*pow(0.002,2)-120*0.002*0.004+102*e*0.002+9*pow(e,2))/(120*pow(e,2)*(-0.002)))
    return da

```

```

def sol_fy(co,c1,b,d,dp,fc_p,fy,Es,As_i,As_s):
    tol=10
    i=co
    j=c1
    while tol>=0.000001:
        e=(0.002*i)/(d-i)
        de=(0.002/(d-i)+(0.002*i)/(pow(d-i,2))
        a=alpha(0,e)
        da=dalpha(0,e,de)
        es1=(0.002*(i-dp))/(d-i)
        des1=0.002*((d-dp)/pow((d-i),2))
        if 0 <= e < 0.002:
            j=i-(a*fc_p*b*i+Es*es1*As_s-fy*As_i)/(fc_p*b*(da*i+a)+Es*des1*As_s)
            tol = abs(j - i)
            i=j

```

```

elif 0.002 <= e <= 0.004:
    j=i-(a*fc_p*b*i+Es*es1*As_s-fy*As_i)/(fc_p*b*(da*i+a)+Es*des1*As_s)
    tol = abs(j - i)
    i=j
return j

def ganma(g,e):
    if 0<=e<0.002:
        g=(8*0.002-3*e)/(4*(3*0.002-e))
    elif 0.002<=e<=0.004:
        g=(51*pow(e,2)*0.002-60*pow(e,2)*0.004+6*pow(e,3)+10*pow(0.002,2)*0.004-
7*pow(0.002,3))/(e*(40*0.002*0.004-31*pow(0.002,2)-
120*e*0.004+102*e*0.002+9*pow(e,2)))
    return g

def grafica_fy(fs_1,e,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p):
    if 0<=e<=ey:
        fs_1=Es*e
    elif ey<e<=esh:
        fs_1=fy
    elif esh<e<=esm:
        fs_1=fsm+(fy-fsm)*pow(((esm-e)/(esm-esh)),p)
    elif esm<e<=esuu:
        fs_1=fsm+((fsuu-fsm)/(esuu-esm))*(e-esm)
    return fs_1

def dfy(e,de,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p):
    fs_1=0
    if 0<=e<=ey:
        fs_1=Es*de
    elif ey<e<=esh:
        fs_1=0
    elif esh<e<=esm:
        fs_1=-((fy-fsm)*p*de*pow(((esm-e)/(esm-esh)),p-1))

```

```

elif esm<e<=esuu:
    fs_1=((fsuu-fsm)/(esuu-esm))*de
return fs_1

```

```

def sol_eu(co,c1,e,b,d,dp,fc_p,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p,As_i,As_s):
    tol=10
    i=co
    j=c1
    while tol>=0.000001:
        es1=(0.003*(i-dp))/(i)
        des1=((0.003)/i)-((0.003*(i-dp))/(pow(i,2)))
        es2= (0.003*(d-i))/(i)
        des2=(-(0.003)/i)-((0.003*(d-i))/(pow(i,2)))
        a=alpha(0,0.003)
        da=dalpha(0,0.003,1)

        if 0 <= e < 0.002:
            j=i-(a*fc_p*b*i+grafica_fy(0,es1,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_s-
grafica_fy(0,es2,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_i)/(fc_p*b*(da*i+a)+dfy(es1,des
1,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_s-
dfy(es2,des2,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_s)
            tol = abs(j - i)
            i=j
        elif 0.002 <= e <= 0.004:
            j=i-(a*fc_p*b*i+grafica_fy(0,es1,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_s-
grafica_fy(0,es2,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_i)/(fc_p*b*(da*i+a)+dfy(es1,des
1,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_s-
dfy(es2,des2,ey,esh,esm,esuu,fy,fsm,fsuu,Es,p)*As_s)
            tol = abs(j - i)
            i=j
    return j

```

```

def determinacion_es(Momentos,Curvaturas,Valores_c,M_servicio,year,d):
    cur=0

```

```

pend=0
pend2=0
c=0
es=0
if M_servicio<=Momentos[year,1]:
    pend=(Momentos[year,1]*1000/Curvaturas[year,1])
    cur=M_servicio/pend
    c=Valores_c[year,1]
    es=(d-c)*cur
elif Momentos[year,1]<M_servicio<=Momentos[year,2]:
    pend=(Momentos[year,2]-Momentos[year,1])*1000/(Curvaturas[year,2]-
Curvaturas[year,1])
    cur=(M_servicio-Momentos[year,1]+pend*0.001*Curvaturas[year,1])/pend
    pend2=(Valores_c[year,2]-Valores_c[year,1])/(Momentos[year,2]-
Momentos[year,1])
    c=pend2*(M_servicio-Momentos[year,1])+Valores_c[year,1]
    es=(d-c)*cur
elif Momentos[year,2]<M_servicio<=Momentos[year,3]:
    pend=(Momentos[year,3]-Momentos[year,2])*1000/(Curvaturas[year,3]-
Curvaturas[year,2])
    cur=(M_servicio-Momentos[year,2]+pend*0.001*Curvaturas[year,2])/pend
    pend2=(Valores_c[year,3]-Valores_c[year,2])/(Momentos[year,3]-
Momentos[year,2])
    c=pend2*(M_servicio-Momentos[year,2])+Valores_c[year,2]
    es=(d-c)*cur
return es

```