



**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL**

**INHIBIDORES DE CORROSION Y SU IMPACTO SOBRE LA  
DURABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO**

**Anteproyecto de trabajo de Titulación que se presenta como requisito previo  
a la presentación del Trabajo de Titulación Definitivo para la obtención del  
Título de Ingeniero Civil con concentración en Estructuras**

**Francisco José Hidalgo Parra**

**Directora de Tesis  
PhD. Carmen Terreros**

**Samborondón  
Mayo, 2016**

## **Resumen**

La corrosión en las estructuras de hormigón armado es un fenómeno que poco a poco ha comenzado alarmar a distintos sectores de la industria de la construcción. Ecuador al estar situado en el cinturón de fuego del Pacífico es un país que posee alto riesgo sísmico. Actualmente un gran número de edificaciones han superado su vida útil, donde el proceso corrosivo de las mismas ya ha comenzado. La corrosión generada en el acero de refuerzo afecta y genera daños a las estructuras por lo que actualmente existen tecnologías que buscan prolongar el tiempo de aparición de estos daños desde el inicio y de tal forma dar más años de vida útil a las mismas. Estas tecnologías tienen el nombre de inhibidores de corrosión. En este trabajo de titulación se evaluarán distintas edificaciones a través de un software avalado por la ACI. Este software predice la vida útil a través de un modelo matemático y compara distintas alternativas de inhibidores de corrosión, su alcance en dichas estructuras y su costo. Con esto, se buscará sacar conclusiones sobre que tan ventajosas son o no estas tecnologías para el uso del hormigón armado.

## **Introducción**

En Ecuador se espera que una estructura de hormigón cumpla una vida útil de típicamente 50 años. Se puede lograr este objetivo solo si estas son sometidas a mantenimientos a lo largo del tiempo. El Ecuador, debido a su situación geográfica, se encuentra en la línea ecuatorial. Esto beneficia a los ecuatorianos con un clima cálido y húmedo, sin variaciones extremas a lo largo del año. Guayaquil, puerto principal del país, se encuentra situado en un golfo con una aproximación muy cercana al Océano Pacífico.

Poco se ha estudiado sobre la humedad relativa en la relación con la preservación de las construcciones de hormigón armado. Pero la corrosión en el acero de refuerzo ha comenzado a ser un fenómeno sobre el cual los consultores han comenzado a tomar medidas para reducir su afectación a las construcciones. En los Estados Unidos el tema de la corrosión es tan importante que el gobierno ha declarado reducir tasas fiscales a las empresas que estén investigando tecnologías para reducir este fenómeno, que no solo afecta al hormigón armado sino a toda estructura metálica que interactúe con el medio ambiente.

En el 2010, en un artículo del diario “El Telégrafo”, el título resaltaba “Varios puentes urgen revisión”, donde el ingeniero Oswaldo Ripalda señalaba que cada año deberían de revisarse las estructuras que están sobre el estero Salado. En otro artículo del diario “El Expreso”, del mismo año, se titulaba “Viaductos dañados por óxido” donde la nota exponía que en el país no existe una cultura de mantenimiento por corrosión. Esto expone el tema como una preocupación actual de muchos ingenieros debido a que los costos en mantenimientos son muy altos y con medidas preventivas adecuadas, estos costos podrían ser reducidos.

## INDICE GENERAL

	pg.
Capítulo I: El Problema	5
1.1 Planteamiento del Problema	5
1.2 Formulación del Problema	5
1.3 Sistematización del Problema	6
1.4 Objetivos	6
1.5 Justificación	6
Capitulo II: Marco Referencial	8
2.1 Definiciones Conceptuales	8
2.2 Formulación de Hipótesis	10
2.3 Introducción a la Durabilidad	10
2.4 Corrosión en el Acero de Refuerzo	16
Capitulo III: Metodología	20
3.1 Diseño de Investigación	20
3.2 Población y Muestra	20
3.3 Instrumentos de recolección de datos	21
3.4 Técnicas de Investigación y Pasos a Utilizar	21
3.5 Software de Predicción de Corrosión	22
Capitulo IV: Casos Presentados y Análisis de Resultados	25
Capítulo V: Factibilidad, Conclusiones y Recomendaciones	92
5.1 Conclusiones	92
5.2 Recomendaciones	93

## **Capítulo I: El Problema**

### **1.1 Planteamiento del problema**

A lo largo de los años se ha encontrado que la corrosión en el acero de refuerzo ha logrado vencer a las estructuras mas resistentes. La corrosión en el acero de refuerzo es un fenómeno natural que reduce la vida útil de las estructuras de hormigón armado. Actualmente, en el país se ha introducido nuevas tecnologías que retrasan este fenómeno, extendiendo la vida útil de las estructuras. Así como existen modelos para predecir eventos sísmicos en una estructura, en la actualidad se están desarrollando nuevas herramientas matemáticas que permiten por primera vez tener una estimación sobre el impacto de la corrosión del acero de refuerzo sobre la vida útil de una estructura de hormigón armado. Estas tecnologías que aportan durabilidad llevan el nombre de inhibidores de corrosión.

### **1.2 Formulación del Problema**

Los impactos en la economía del mundo por corrosión son muy elevados, según la NACE (National Association of Corrosion Engineers) Estados Unidos gasta el 3.1 % del PIB por corrosión. La corrosión es entonces un fenómeno global que afecta tanto directa como indirectamente a los países desarrollados como no desarrollados. Cuando una estructura de hormigón armado presenta problemas de corrosión, debe ser intervenida inmediatamente. Estos son los costos que se podrían evitar si tomáramos medidas preventivas. Los inhibidores de corrosión son una alternativa practica para agregarle décadas de vida útil a las estructuras de hormigón armado, por lo tanto, usarlos al inicio de un proyecto hace que el constructor se despreocupe por los costos de mantenimientos a corto plazo.

Los costos por metro cuadrado de reparación son muy elevados. Por lo tanto, el prolongar dichos costos en el tiempo es un beneficio económico para quien tenga

que gastar ese dinero. Ya en países del primer mundo se habla de construir pensando en 100 años de vida útil, las normas españolas así lo demuestran. El Ecuador no debería de seguir pensando en 50 años si éste está buscando construir para el futuro, un ejemplo de ello es la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Las pirámides de Egipto siguen de pie, y efectivamente lo están porque las mismas no tienen acero de refuerzo. No tendría ningún sentido que se diseñe un puente con vida útil de 50 años si al año 40 encontramos que la sección transversal del acero de refuerzo está totalmente comprometida.

Por lo tanto, es sumamente importante conocer que tanto aportan estas tecnologías a la vida útil de las estructuras y cuáles son sus costos para poder tener nuevos elementos de criterios en el momento de diseño. En el modelo de predicción de vida útil Life 365, avalado por el ACI, se estudiará cuantos años de vida útil estructural efectivamente se puede ganar usando inhibidores de corrosión y también a su vez como otras medidas como la del espesor de recubrimiento, influyen o no en la durabilidad de las estructuras a lo largo del tiempo. También es necesario conocer los distintos tipos de inhibidores que existen en el mercado, para poder evaluarlos y tener un criterio más amplio sobre las distintas alternativas a utilizar.

### **1.3 Sistematización del problema**

- ¿Cuál inhibidor de corrosión da mayor durabilidad?

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivos Generales**

Evaluar mediante el software Service Life 365 el impacto que tiene la corrosión del acero de refuerzo sobre la vida útil de las estructuras de hormigón armado localizadas en el Ecuador, se hayan utilizado o no Inhibidores de corrosión en su construcción.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar casos de estructuras de hormigón armado existentes con daños por corrosión del acero de refuerzo.
- Comparar la vida útil de estructuras de hormigón armado con y sin inhibidor de corrosión.
- Realizar un análisis costo/beneficio en relación al ahorro en reparaciones debido a los daños por corrosión con la aplicación temprana de inhibidores de corrosión.

### **1.5 Justificación**

Conocer cuántos años de vida útil puede ganar una estructura de hormigón armado a través del uso inhibidores de corrosión en el Ecuador y preservar las estructuras de daños debido a la corrosión del acero de refuerzo, justifican este trabajo de titulación.

## **Capítulo II: Marco Referencial**

### **2.1 Fundamentación Teórica**

En el Ecuador se espera que las estructuras de hormigón armado duren típicamente 50 años, pero el problema de la corrosión en el acero de refuerzo provoca que dichas estructuras tengan que ser intervenidas antes del tiempo esperado, debido a la reducción de la sección transversal del acero, ocasionando la pérdida de la resistencia para la cual fueron diseñadas.

A lo largo de los años, en numerosas estructuras se han encontrado problemas de corrosión. Un ejemplo de esto es el puente 5 de Junio en la ciudad de Guayaquil que fue intervenido en el año de 1996. Por primera vez en el país en esa época se utilizó un inhibidor de corrosión para proteger dicha estructura. En la actualidad, el puente de Las Monjas fue otro ejemplo en donde se encontró daños en la estructura por corrosión.

Una medida preventiva de durabilidad son los inhibidores de corrosión, que buscan proteger el acero de refuerzo de la corrosión prolongando la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

### **2.2 Definiciones Conceptuales**

ACI: American Concrete Institute

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Cloruros: Compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal.

Carbonatación: Es el proceso que ocurre en el hormigón, donde la cal apagada (hidróxido cálcico) del cemento reacciona con el dióxido de carbono del aire formando carbonato cálcico.



Carboxilato de Amina: Compuesto químico del inhibidor de corrosión.

Corrosión: Es el retorno del metal a su estado natural (hematita).

F'c: Resistencia a la compresión del concreto.

F'y: Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Humedad: Agua u otro líquido que impregna la superficie o el interior de un cuerpo, o presente en el aire en forma de vapor.

Humedad Relativa: Porcentaje de la masa de vapor de agua contenida en un volumen de aire y la que tendría si estuviera saturado.

Inhibidor de Corrosión: Aditivo que inhibe la corrosión en el acero de refuerzo.

Oxido: es un compuesto binario que contiene uno o varios átomos de oxígeno y otros elementos.

Puente: Es una construcción que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua o cualquier otro obstáculo físico.

NACE: Asociación Americana de Ingenieros en Corrosión.

Service Life 365: Software avalado por el Instituto Americano del Concreto que permite evaluar la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

Salinidad: Cantidad relativa de sales disueltas en un líquido, especialmente el agua del mar.

Vida Útil de Servicio: Es el tiempo en el cual una estructura de hormigón armado va a existir.

### **2.3 Formulación de Hipótesis**

La utilización de inhibidores de corrosión al inicio de la obra aumentará la vida útil de las estructuras de hormigón armado, sin incrementar significativamente los costos del proyecto.

### **2.4 Introducción a la Durabilidad**

La durabilidad del hormigón armado es un tema que aun no se ha tratado mucho en el país. Sin embargo, en el mundo numerosos estudios se han ido realizando donde ingenieros han deseado investigar sobre como este material puede comportarse ante la presencia de agentes agresivos como cloruros, carbonatación, oxidación, erosión, lluvias acidas entre otro, para conocer que tanto estos agentes afectan la vida útil de una estructura. Actualmente, se produce de forma anual algo más de una tonelada de hormigón por cada ser humano presente en el planeta, lo que equivale a unas 9000 millones de toneladas al año, o sea algo más de 4000 millones de metros cúbicos.

El hormigón puede aplicarse a toda la infraestructura de un país en los sectores de la construcción, industria, transporte, defensa, servicios de todo tipo y la vivienda, por lo que es importante conocer y estudiar alternativas en diseños donde podamos extender su vida útil . La primera obra importante en la historia del hormigón en masa de la que se tiene noticia y que ha llegado hasta nuestros días es el Panteón de Roma, obra extraordinaria realizada por Agripa en el año 27 de nuestra era. Este edificio con una cúpula de nada menos que de 44 m de luz, aligerada mediante casetones, no tiene más huecos que un lucernario en su parte superior.

Sufrió los efectos de un incendio pero fue reconstruido por Adriano en el año 120 de nuestra era y en el año 609 se transformó en la iglesia de Santa María de los Mártires. En la construcción del Panteón se utilizó un hormigón fabricado con aglomerante cal puzolana y áridos ligeros de origen volcánico (piedra pómez). A su vez, no uso esta estructura no uso acero de refuerzo ya que su cúpula trabajo principalmente a compresión. Nadie puede dudar de que el Panteón es una obra de hormigón duradero.

Diecinueve siglos mas tarde se crea el hormigón armado en el sur de Francia por Lambot en 1845. Lambot comienza a fabricar objetos en que combina el cemento Pórtland y el acero. Pero se dice que es Joseph Monier quien realmente fabrica las primeras jardineras para rosales con un hormigón al que le colocó en su interior alambre de acero para darle mayor estabilidad. A Monier se le debe la primera patente del hormigón.

Monier junto con su socio Francois Coignet fabricó posteriormente una gran cantidad de objetos de hormigón armado: tubos, vigas, bóvedas, etc, que presentó en la Expo Mundial de Paris del año 1885 dando a conocer a nivel mundial las bondades de este nuevo material. Fue Coignet quien estudió el papel que le correspondía jugar al hormigón y al acero como partes integrantes de este nuevo material y publica sus resultados en un libro aparecido en el año 1881 bajo el título de “Betons Agglomérés”. A partir de este trabajo se suceden importantes estudios e investigaciones sobre el hormigón armado, especialmente en Francia, Alemania y Suiza, que posteriormente se van extendiendo a todo el mundo.

La originalidad de Joseph Monier y de Francois Coignet de introducir barras de acero en esa piedra artificial creada por Lambot que era el incipiente hormigón, radicaba no solo en mejorar las propiedades mecánicas del producto obtenido, sino también en el hecho de que en un ambiente altamente alcalino como es el caso del hormigón, el acero de refuerzo podía mantenerse en un estado inerte, sin oxidarse. Todo parecía indicar que se había logrado un material eterno.

Pero muy pronto los investigadores descubrieron que esa piedra artificial no era completamente compacta y densa. En su estructura se hicieron evidentes mecanismos de transporte de los agentes agresivos hacia el interior de su masa: Los poros capilares. A través de esos mecanismos de transporte, de esos pequeños poros capilares, podían pasar los agentes agresivos presentes en la atmósfera, que modificando sus propiedades e incluso, aún sin modificar sus propiedades esenciales, pueden llegar hasta el acero de refuerzo, despasivándolo y creando las condiciones para su oxidación.

Además, el hormigón por sí mismo, como muchos otros materiales existentes creados por el hombre es termodinámicamente inestable, posee energía potencial para modificarse en formas químicas más estables. La pasta de cemento endurecida, la llamada “piedra de hormigón”, expuesta a la atmósfera comienza a deteriorarse, reaccionando lentamente con el CO<sub>2</sub> del aire y con la exposición a las lluvias, que se van tornando cada vez más ácidas debido a la contaminación ambiental, especialmente en los ambientes industriales. De esta forma las superficies del hormigón se descascaran y carbonatan, los silicatos cálcicos hidratados terminan convirtiéndose en carbonato de calcio, gel de sílice y gel de aluminio.

Mucho se ha estudiado en como agregar durabilidad a las estructuras de hormigón armado dándole altas resistencias, aumentándole espesores de recubrimientos, haciéndolo mas impermeable entre otros. Pero en la practica se ha separado el hormigón de su armadura cuando hablamos sobre durabilidad. ¿De que serviría tener un hormigón con todas estas cualidades si en un mediano plazo el acero de refuerzo comienza a corroerse?. Los poros capilares en el hormigón son y serán siempre el mecanismo de transporte para que los agentes agresivos externos ataquen no solo el hormigón sino su armaduras. Entonces para pensar en durabilidad deberíamos de pensar en no solo proteger el hormigón si no su armadura ya que ésta es la columna vertebral del mismo. La durabilidad de las estructuras de hormigón es ya un problema principal, es un estado límite más en el diseño de las estructuras, junto con la resistencia a la aplicación de las cargas, a

las deformaciones permisibles y a los tamaños máximos de fisuras permitidos. Se puede definir la durabilidad como la capacidad de la estructura para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Para hablar de durabilidad tenemos que tener en cuenta como es la problemática vinculada con los costos. Según la ley de Sitter o “ley de los cinco” muestra claramente que un defecto encontrado en la etapa de diseño costará cinco veces menos que si se detecta en la etapa de ejecución, 25 veces menos si se detecta en la etapa de mantenimiento preventivo y 125 veces menos que si se detecta en la etapa de reparación o rehabilitación de una estructura. Esto muestra que es de suma importancia que estos defectos sean detectados y corregidos. A su vez, muestra que es en la etapa de diseño cuando también podemos aplicar medidas preventivas para alargar la vida útil de una estructura de hormigón armado.

La pregunta sería: “¿Durabilidad para qué?”. La respuesta sería “para que dicha estructura sea capaz de alcanzar un plazo de vida determinado”. Por lo que toda estructura debe diseñarse para que alcance una vida útil determinada. Entonces aparece otro concepto, “la vida útil” o “la vida de servicio”. Este concepto debe ser muy determinante en la etapa de diseño ya que según “la ley de los cinco”, es en esta etapa donde cualquier modificación para alcanzar esta meta será mas eficiente y eficaz debido al ahorro de los costos que en un futuro dicha estructura va a tener. Existen cuatro definiciones en los plazos de vida útil y estos son:

- **La vida útil del proyecto:** que se caracteriza porque comienzan a aparecer en la estructura los primeros síntomas de corrosión del acero de refuerzo: fisuraciones, manchas superficiales de óxido, etc. Este es el momento idóneo para hacer las intervenciones necesarias que permitan alargar la vida útil de la estructura.

- **La vida útil de servicio**, que se caracteriza porque la estructura pierde ya sus condiciones de servicio, o sea comienza a desprenderse la capa de recubrimiento del acero y esto puede provocar accidentes en las personas.
- **La vida útil última**, que se caracteriza porque debido a la corrosión, el acero de refuerzo ha perdido sección suficiente para provocar en cualquier momento el colapso de la estructura.
- **La vida útil residual**, que es el tiempo en que la estructura se mantiene sin colapsar aún después de haber vencido su plazo de vida útil última.

La normativa internacional más generalizada establece requerimientos de tipo determinístico en cuanto a especificaciones en los hormigones a utilizar para poder garantizar una vida útil del proyecto no menor de 50 años. Este plazo de vida útil de proyecto puede ser nominalizada para edificaciones, no así para obras de infraestructura donde se exigen normalmente plazos no menores de 80 a 100 años.

La pregunta “¿Durabilidad ante qué?”, se refiere a la caracterización del entorno ambiental que rodea a las estructuras. Para poder caracterizar el entorno ambiental es necesario en primer lugar identificar los tipos fundamentales de deterioro en las estructuras de hormigón que pueden generar estos entornos, que se han resumido en tres grandes grupos:

- Por corrosión del acero de refuerzo, en las estructuras de hormigón armado o pretensado.
- Por ataque químico del hormigón, proveniente del exterior o del interior de la estructura.
  - Ataque de ácidos orgánicos e inorgánicos y lluvias ácidas.
  - Ataque de sulfatos y otros ataques químicos.
  - Reacción árido-álcali y álcali-carbonato.
  - Formación de Thaumasita.

- Por acciones físico-mecánicas y otras
  - La congelación y el deshielo.
  - Otros factores que afectan la durabilidad, la Lixiviación y eflorescencias.
  - Deterioro del hormigón por desgaste superficial: Abrasión, erosión y cavitación.
  - Deformaciones y agrietamiento de las estructuras.

La pregunta sería como reducir en la etapa de diseño la posibilidad para que estos agentes externos no disminuyan la vida útil de la estructura. Para esto en la etapa de diseño podemos trabajar de dos formas: Directamente o indirectamente. Tenemos que recordar que el hormigón armado comprende dos partes, el hormigón y el acero.

Para hablar de durabilidad, primero debemos tener claro a que es a lo que queremos darle durabilidad. Para proteger el hormigón, lo que se debería disponer es de un hormigón lo suficientemente denso, compacto, uniforme, sin fisuras, oquedades, ni juntas frías, con reducidos o minimizados mecanismos de transporte de los agentes agresivos hacia su interior.

El problema radica en conseguir un hormigón cien por ciento impermeable. Si trabajamos de esta forma efectivamente, vamos a alargar el tiempo de vida útil de una estructura, pero una vez que estos agentes logren penetrar por los micro poro capilares, llegaran al acero y su proceso corrosivo comenzará.

También podemos hacer empleo de diferentes sustancias formadoras de películas protectoras o selladoras de los poros del hormigón, que impiden o interrumpen los mecanismos de transporte de los agentes agresivos hacia su interior y pueden además proteger a la estructura de efectos físico mecánicos como la erosión, pero de todos modos, cuanto estos logren penetrar por los poros capilares la corrosión se generaría. Todo esto es proteger la estructura de manera indirecta.

La protección directa es la que pretende proteger el acero de refuerzo y es la que realiza la protección catódica, como también los inhibidores de corrosión. Antes de comenzar a hablar de Inhibidores de corrosión es pertinente hablar primero sobre que es la corrosión. La corrosión no es mas que el regreso del metal a su estado natural, la hematita. El acero de refuerzo en su proceso de manufactura recibe una enorme cantidad de energía que el mismo busca liberar en función del tiempo. Este proceso de retorno a la hematita solo se puede dar con la ayuda del agua y el oxígeno.

## **2.5 La Corrosión en el Acero de Refuerzo**

La corrosión en las varillas de acero de refuerzo del concreto es la suma de procesos químicos y electroquímicos que toman lugar en tres diferentes lugares. En este caso el papel mas importante lo tiene el concreto, ya que en este medio es donde se absorbe el agua a través de los poros de la matriz cementosa. Los iones se mueven a través de los pequeños poros del concreto hasta las varillas de acero. Al mismo tiempo, también ingresa el oxígeno.

La acción en la varillas es la oxidación de los iones ferrosos en iones férricos y la precipitación de óxidos de acero. La disolución de iones tiende a hacer mas negativo el cátodo, y el oxígeno tiende a acelerar esta reacción en el ánodo. Si uno interfiere esa reacción, entonces interfiere el proceso de corrosión. Los iones de cloruros son catalizadores de corrosión: Cloruro de calcio; o el océano en las estructuras cerca de la playa o en el mar.



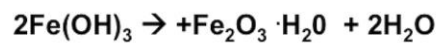
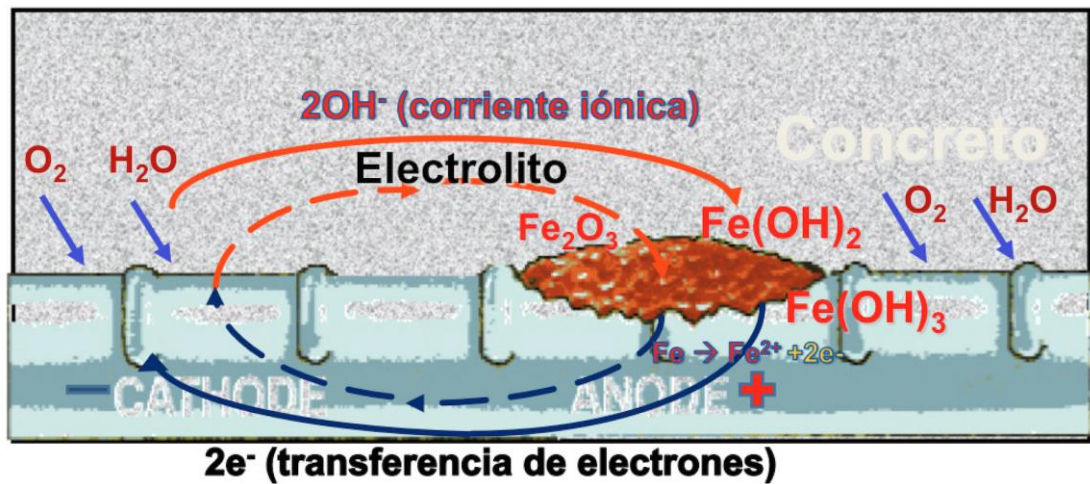


Imagen #1

El cemento reaccionará con una pequeña cantidad de cloruros del medio acuoso. Aproximadamente 1 lb. (0.5 Kg.) o 0.05% por yarda cúbica de contenido de cloruros en el concreto se necesita para que la corrosión se active.

Estos compuestos de corrosión se van acumulando en las varillas y ocasiona que el volumen de las mismas aumente en función de las reacciones que se van generando. Como el hormigón es un material que cumple un mejor desempeño en la compresión que en la tracción, estos aumentos de volúmenes y a su vez luego pérdidas de sección transversal, ocasionan que el hormigón falle y que se reviente la estructura. Este problema afecta la resistencia a la carga ya que la elongación de la varilla se disminuye, ocasionando que la estructura sea mas propensa a fallar ante un sismo.

En 1979 se inventaron por primera vez los inhibidores de corrosión debido a que en los Estados Unidos se echaban sales deshielantes a los puentes en la época de invierno, que tienen como función derretir el hielo. El problema fue que estas sales penetraban el concreto y aceleraban el proceso de corrosión. Como se dijo anteriormente, en las varillas existe una zona anódica y otra catódica. Los primeros inhibidores fueron anódicos, es decir, protegían los iones negativos del

metal. Estos inhibidores no fueron tan eficientes porque no tenían alta durabilidad debido a que aún se desprotegía la zona catódica. A su vez, existieron los inhibidores catódicos que dejaban expuesta la zona anódica. En los años ochenta se reinventaron y se crearon los inhibidores de corrosión mixtos que protegían ambas partes del metal, la anódica y la catódica.

La primera tecnología de inhibidores mixtos fueron de Alkanolaminas, estos inhibidores desplazaron el umbral de cloruros un 0,10% por peso de cemento. Es decir que se necesitaba el doble de contenido de cloruros en la varilla para que inicie el proceso de corrosión. Como se menciona anteriormente la corrosión empieza cuando los cloruros alcanzan 0,05% por peso de cemento. Una vez alcanzado este valor se conoce ya que en 6 años aproximadamente se tendrá que intervenir en la estructura. Estos inhibidores eran mejores pero tenían una deficiencia. El Alkanol es una molécula hidrofílica, es decir, atrae el agua, por lo que hacía que la eficiencia se redujera un poco, por lo que la compañía que los fabricó, Cortec Corporation, cambió el Alkanol por un Carboxilato, ya que éste era una molécula hidrofóbica, es decir repele el agua.

Por esta razón, se alcanzó extender el umbral de cloruros hasta un 18% por peso de cemento. Es decir que para que la corrosión se inicie en una estructura, ésta tiene que esperar mucho más tiempo para que los cloruros que se depositen en la varilla inicien el proceso de corrosión en la misma. Eso no fue lo único que se ganó, la pendiente de corrosión una vez iniciada al 18% de cloruro por peso de cemento, de 6 años para realizar una intervención, se la bajó a 30 años. Por este motivo los inhibidores de corrosión de carboxilato de amina dicen extender la vida útil de una estructura de hormigón armado de dos a tres veces sin alterar su diseño.

Como hablamos al inicio, existen la protección indirecta y directa al hormigón. Cuando hablamos de la vida útil de la estructura considerando que es un conjunto entre el concreto y acero. Las altas resistencias prolongan la vida útil de una estructura pero no atacan la raíz del problema que es la corrosión en el acero de

refuerzo, por lo que sabemos que el hormigón tiene micro poros por donde los agentes externos viajan.

Los inhibidores de corrosión mixtos de carboxilato de amina trabajan directamente en la varilla, ya que sus moléculas migran a través del hormigón para dividirse en iones positivos y negativos y se adhieren en el metal dejando en él una barrera molecular.

## **Capítulo III: Metodología**

### **3.1 Diseño de Investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que propone, a través de un análisis computacional, numérico y estadístico, establecer cuantos años de vida útil un edificio puede ganar o no, con el uso de inhibidores de corrosión.

Los resultados que se obtienen en cada edificación son independientes de quien los estudie, por lo que el objeto de la investigación es descubrir cuales son y darlos a conocer. De esta manera, con dichos resultados hemos establecidos mejores criterios para la elección de inhibidores de corrosión en las edificaciones de hormigón armado que pueda extender sus años de vida útil.

El diseño de la investigación es experimental debido a que se presenta mediante la manipulación de una variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo y por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

### **3.2 Población y Muestra**

Para el trabajo de titulación se evaluarán 5 edificaciones:

1. Edificio Blue Bay (Isla Mocoli, Cantón Samborondón, Provincia del Guayas).
2. Edificio Torre Oceanica (Ciudad de Salinas, Provincia de Santa Elena).
3. Edificio Cubico (Ciudad de Manta, Provincia de Manabí).
4. Edificio El Velero (Ciudad de Guayaquil, Provincia del Guayas).
5. Edificio Manglaro (Cantón Canoa, Provincia de Manabí)

### **3.2 Instrumentos de recolección de datos**

Se seleccionó las edificaciones a estudiarse de acuerdo a su lugar de construcción por lo que para esta investigación se recurrió a hacer una búsqueda en laboratorio.

Se visitó a distintas empresas consultoras, las cuales proporcionaron los planos de las edificaciones seleccionadas para obtener resistencias, relaciones agua/cemento, espesores de recubrimientos y el  $f_y$  de acero.

Se hizo una recolección de estudios realizados sobre distintos tipos de inhibidores de corrosión para estudiar los umbrales de cloruros que manifiesten el porcentaje por peso de cemento que hacen que se active la corrosión en el acero de refuerzo.

### **3.3 Técnicas de investigación y pasos a utilizar**

La investigación es de tipo experimental, debido a que se obtuvo una aproximación científica a través de la manipulación de la variable inhibidor de corrosión en los edificios a investigar. Para realizarlo se analizó la información recolectada de los planos. Una vez analizada, se procedió a hacer una modulación en el software Service Life 365, en el cual se predijo la vida útil de los edificios seleccionados. En el mismo se le agregó la variable del inhibidor de corrosión seleccionado para el análisis y se evaluaron los resultados con y sin inhibidor de distintos tipos.

Una vez analizada la vida útil de las estructuras, el software procede a hacer un diagrama de flujo de dinero que intenta exponer cuanto se ahorraría o no el constructor si usa inhibidor de corrosión en los edificios seleccionados y como esto prolongaría o no sus futuras reparaciones a través del tiempo.

### 3.5 Software de Predicción de Corrosión

Service Life-365 es un software diseñado para estimar los costos de vida útil y el ciclo de vida del concreto mezclando alternativa de diseños, proporciones y costos de los distintos sistemas de protección contra la corrosión. Este software da estimaciones sobre los efectos del diseño, la exposición de cloruro, la temperatura ambiental, de alto rendimiento proporciones de mezcla de concreto, las barreras de la superficie y los tipos de acero en el vida útil; y el costo del ciclo de vida de las estructuras de hormigón armado.

Este modelo simple y transparente proporciona una herramienta fundamental para los consultores: ¿Qué diseño utilizar para la estimación de los costos de vida útil y el ciclo de vida de los sistemas de protección alternativo en el diseño de estructuras de hormigón armado que se expondrán a los cloruros?.

El análisis llevado a cabo dentro del Life-365 se puede dividir en cuatro etapas:

- Predecir el tiempo para el inicio de la corrosión, comúnmente llamado la iniciación período  $T_i$ .
- Predecir el tiempo para que la corrosión alcance un nivel inaceptable, comúnmente llamada el período de propagación  $T_p$ . El tiempo hasta la primera reparación,  $T_r$  es la suma de estos dos períodos: es decir  $T_r = T_i + T_p$ .
- Determinar el calendario de reparación después de la primera reparación.
- Estimación de costos del ciclo de vida basado en el hormigón inicial (y otro tipo de protección), los costos y los futuros gastos de reparación.

El período de iniciación,  $t_i$ , define el tiempo que tardara una suficiente cantidad de cloruros para penetrar el recubrimiento de hormigón para acumularse en cantidad suficiente en la profundidad del acero para iniciar la corrosión. En concreto, se representa el tiempo tomado que el umbral de concentración de cloruros,  $C_t$ , se tarda para llegar a la profundidad de la cubierta  $X_d$ . Life-365 utiliza un enfoque simplificado basado en la difusión Fickian.

El modelo predice el período de iniciación de difusión suponiendo que es el mecanismo dominante. La segunda ley de Fick es la ecuación diferencial que rige:

$$\frac{dC}{dt} = D \cdot \frac{d^2C}{dx^2}$$

(1)

Donde:

- C = Contenido de cloruro.
- D = Coeficiente de difusión aparente.
- x = Profundidad expuesta desde la superficie.
- t = Tiempo.

El coeficiente de difusión de cloruro es una función del tiempo y la temperatura., donde Life-365 utiliza la siguiente relación para dar cuenta de los cambios dependientes del tiempo en la difusión.

$$D(t) = D_{ref} \cdot \left( \frac{t_{ref}}{t} \right)^m$$

(2)

Donde:

- $D(t)$  = Coeficiente de difusión en tiempo  $t$ .
- $D_{ref}$  = Coeficiente de difusión en tiempo  $t$  (28 días).
- $M$  = Constante (dependiendo de las proporciones de la mezcla).

Life-365 selecciona los valores de  $D_{ref}$  y  $m$  en base a los detalles de diseño de la mezcla (en la relación de agua/cemento del diseño y el tipo y proporción de materiales de cemento) ingresados por el usuario. Con el fin de evitar que el coeficiente de difusión vaya disminuyendo con el tiempo indefinidamente, la relación mostrada en la ecuación 2 sólo es válida hasta 25 años. Después de este plazo, el valor a 25 años ( $D_{25}$ ) se calcula a partir de la ecuación 2 donde se supone que es constante durante todo el resto del período de análisis.

Se requieren las siguientes entradas de usuario generales para cada proyecto:

- Ubicación geográfica.
- Tipo de estructura y la naturaleza de la exposición.
- Profundidad de la cubierta para el hormigón al acero de refuerzo ( $X_d$ ).
- Los detalles de cada estrategia de protección como la relación agua/cemento, tipo y cantidad de aditivos minerales o inhibidores de la corrosión, tipo de acero y revestimientos, presencia de membranas.

A partir de estos parámetros de entrada, el modelo selecciona los coeficientes necesarios para calcular el tiempo hasta la corrosión como se detalló anteriormente. El periodo de propagación,  $T_p$ , se fija en 6 años. En otras palabras, el tiempo para reparar,  $T_r$ , viene dado simplemente por  $T_r = T_i + 6$  años. El tiempo para la primera reparación,  $T_r$ , se predice por Life-365 a partir de las propiedades del hormigón, la naturaleza de cualquier estrategia de protección contra la corrosión y los detalles de la exposición ambiental. El costo y el alcance de esta primera reparación (es decir, el porcentaje de área a reparar) son estimados por el usuario.



#### **Capítulo IV: Casos Presentados y Análisis de Resultados**

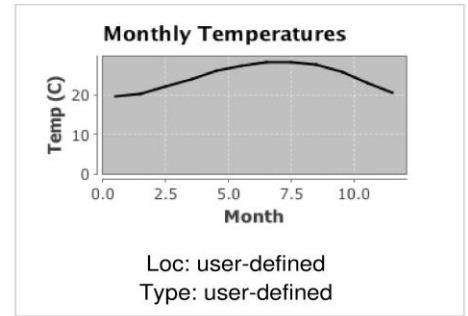
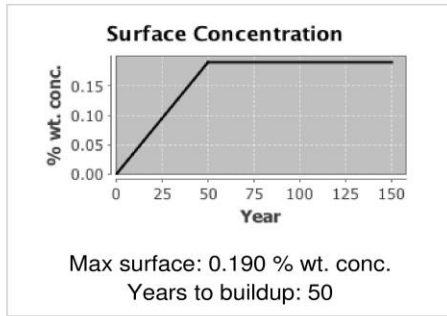
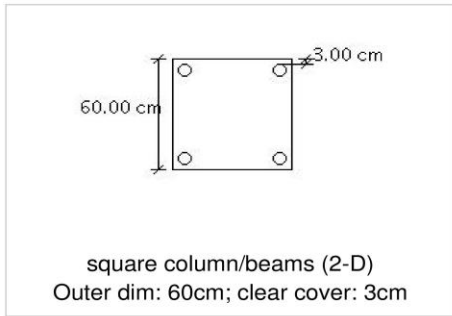
Para la interpretación de los resultados se realizará un análisis de los distintos datos obtenidos con los diferentes edificios estudiados. A su vez, se esperará encontrar una constante que explique similitudes y diferencias que ayuden a comprender la vida útil de los edificios estudiados.

Project: Edificio Blue Bay 4 Columna

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	20.1 yrs	6 yrs	<b>26.1 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	91.8 yrs	-> 30 yrs	<b>121.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

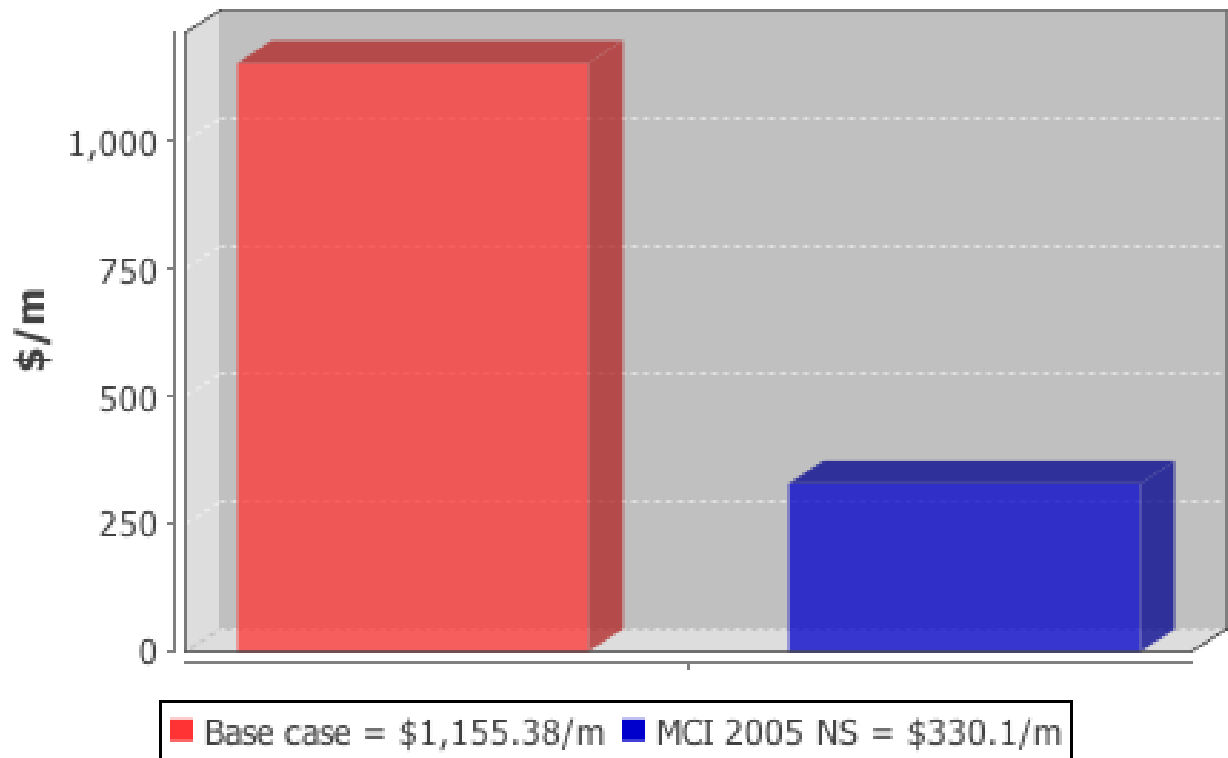


Gráfico #1 Reparación / Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

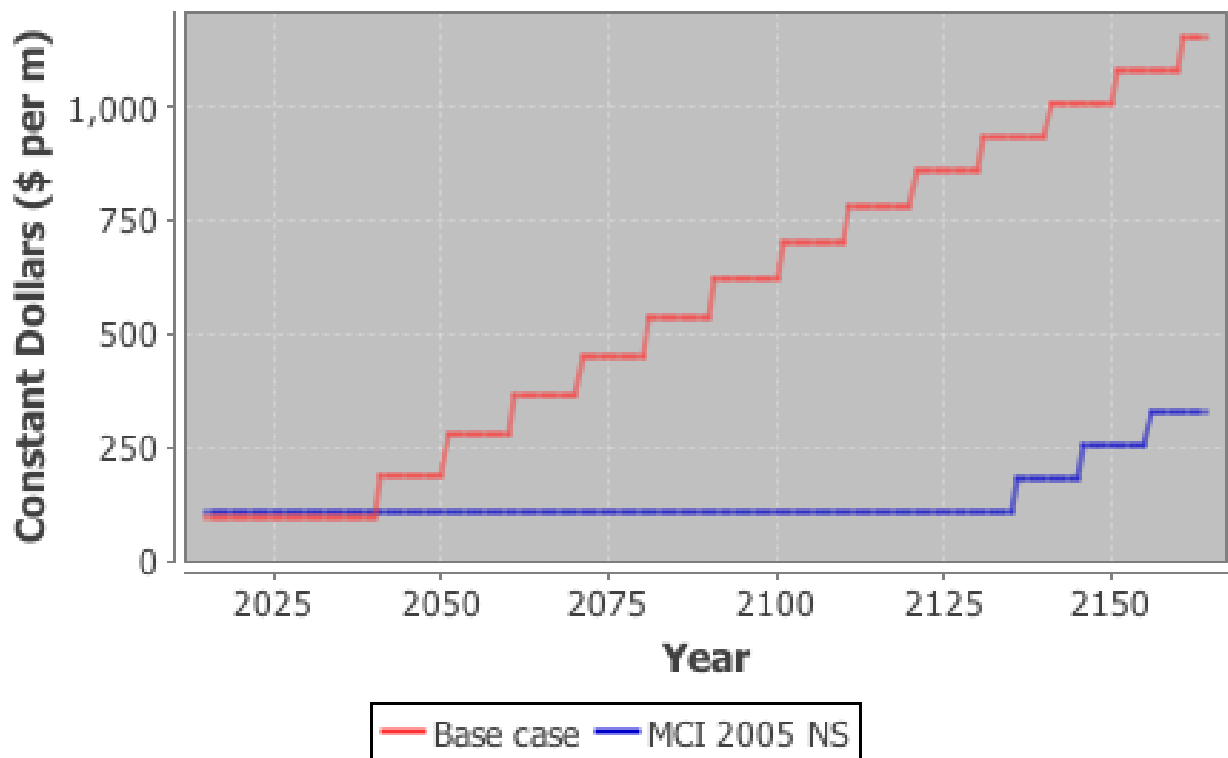


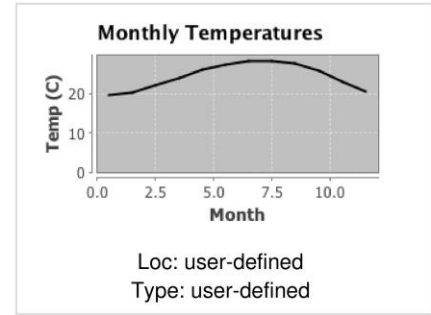
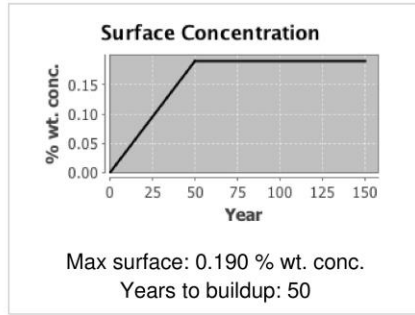
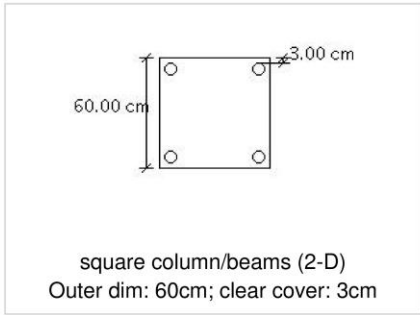
Gráfico #1 Reparación / Tiempo

Project: Edificio Blue Bay 4 Columna

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Nitrito de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	20.1 yrs	6 yrs	<b>26.1 yrs</b>
Nitrito de Calcio	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.07 % wt. conc.	27.9 yrs	6 yrs	<b>33.9 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

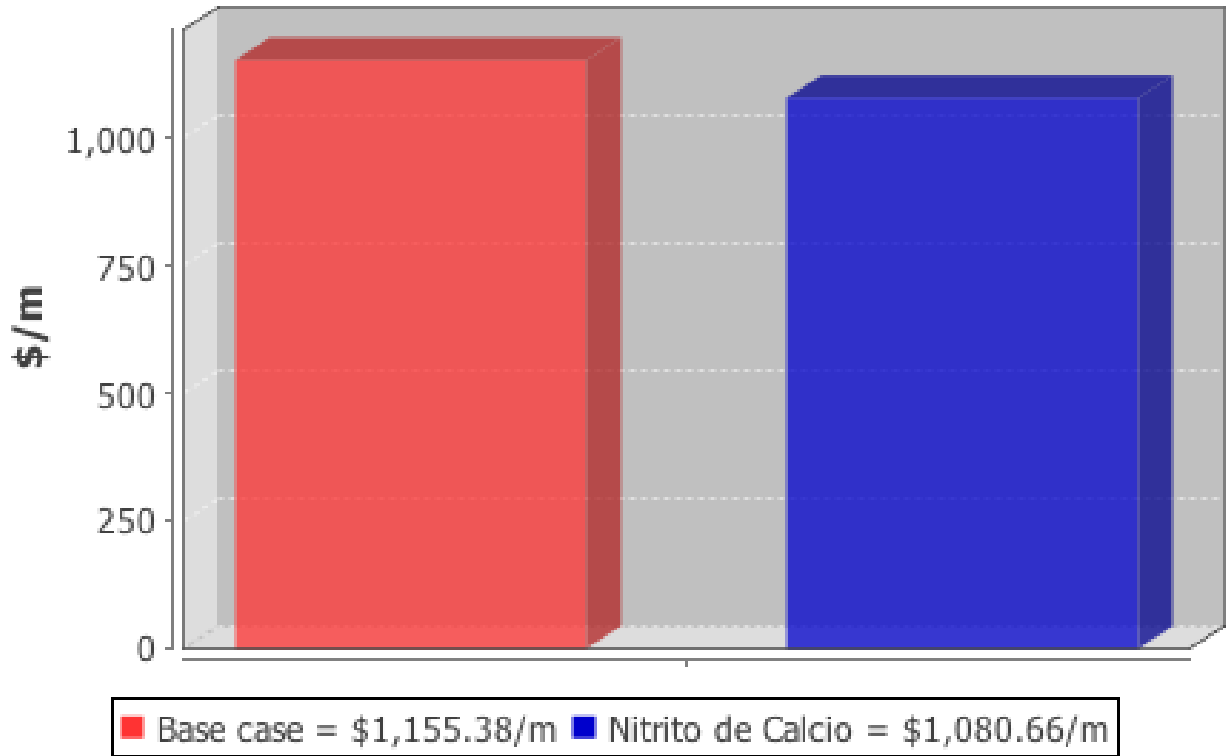
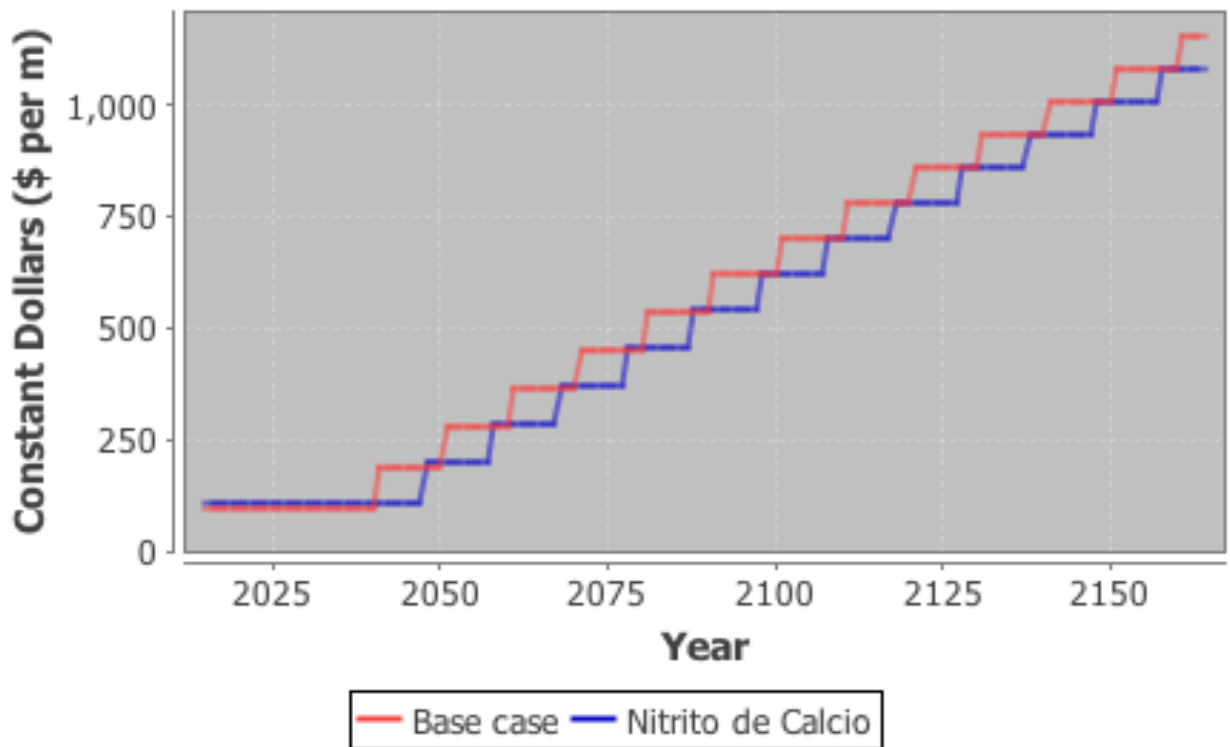


Gráfico #2 Reparación / Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



### **Columna sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 20 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 26 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser intervenidas 11 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 28 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 34 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 92 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 121 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

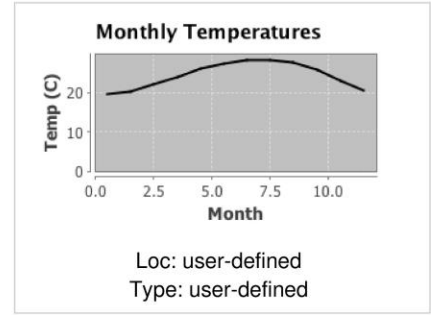
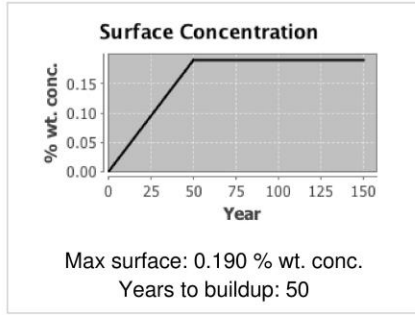
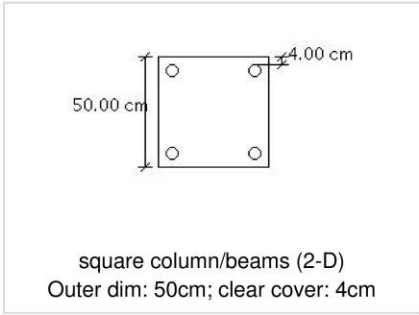
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las columnas deberán ser intervenidas 2 veces por corrosión.

Project: Edificio Blue Bay 4 Pilotes

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	21.2 yrs	6 yrs	<b>27.2 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	103.8 yrs	-> 30 yrs	<b>133.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Life-Cycle Cost, by Alternative

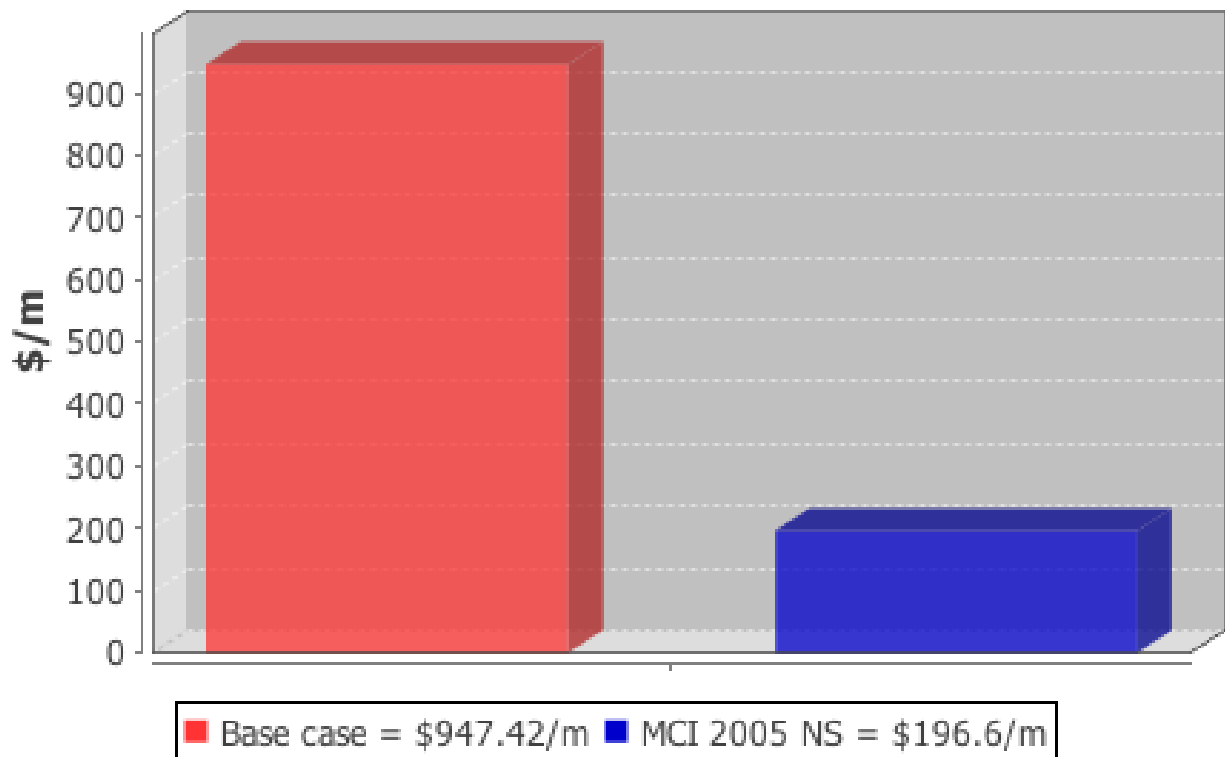
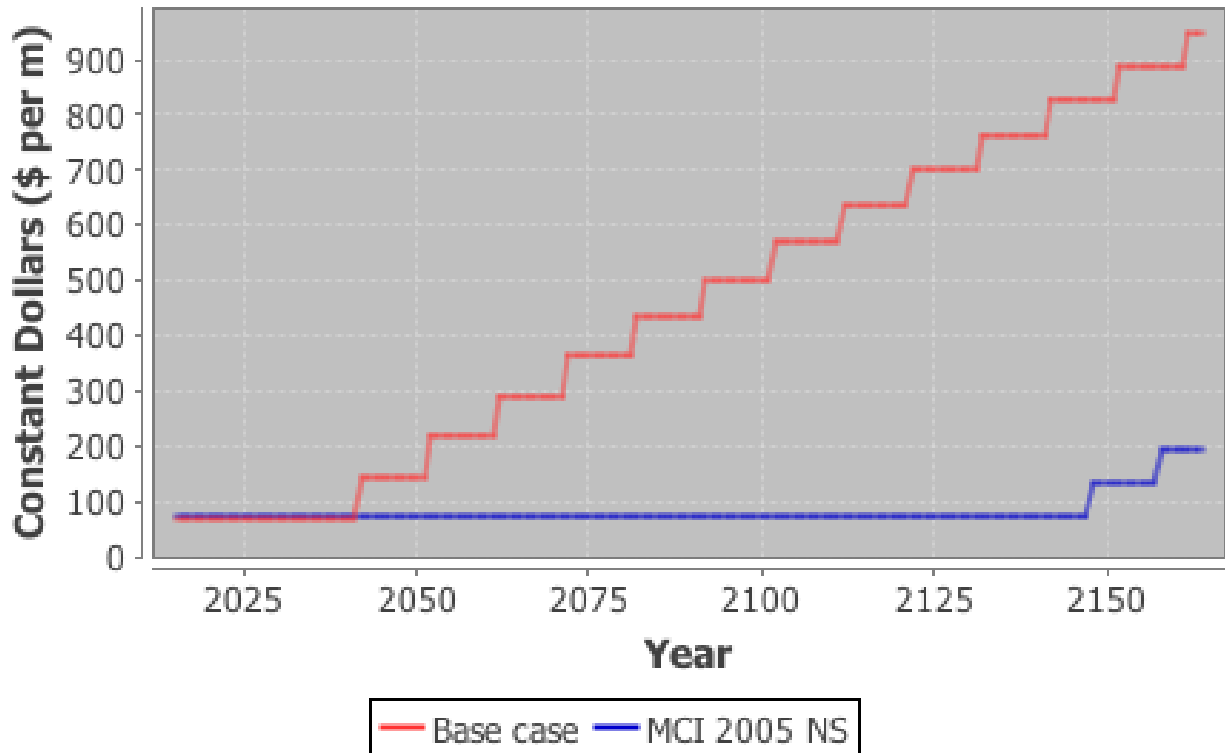


Gráfico #3 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

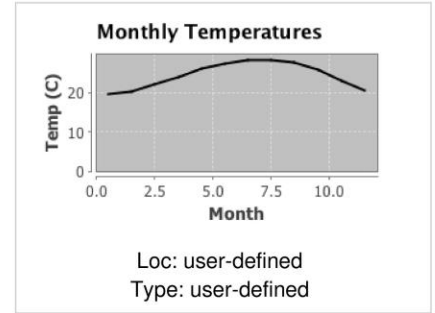
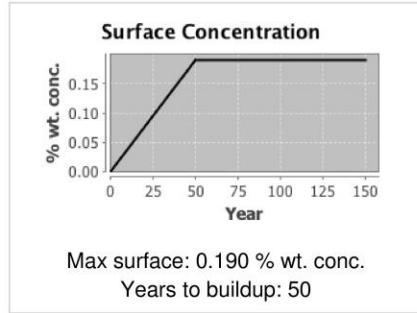
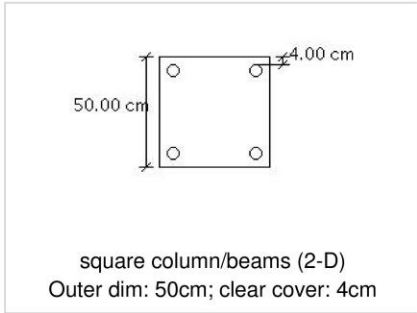


Project: Edificio Blue Bay 4 Pilotes

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Nitrito de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	21.2 yrs	6 yrs	<b>27.2 yrs</b>
Nitrito de Calcio	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.07 % wt. conc.	29.3 yrs	6 yrs	<b>35.3 yrs</b>

">" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

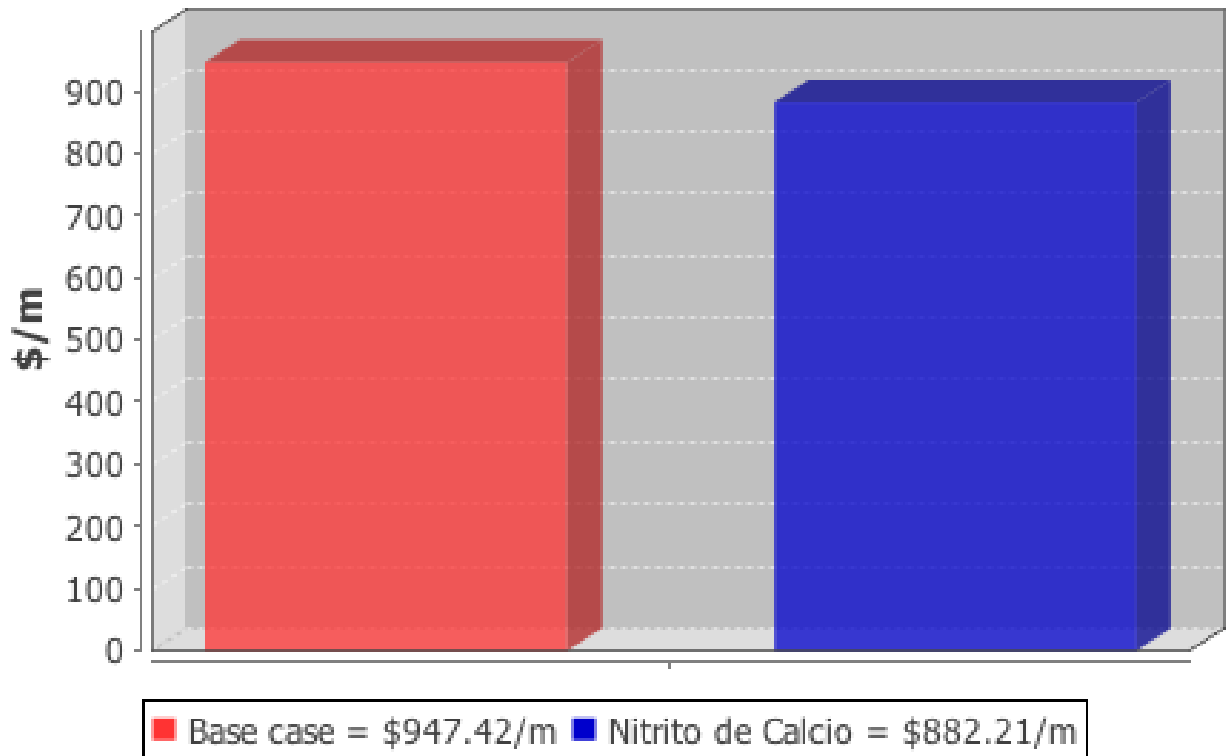
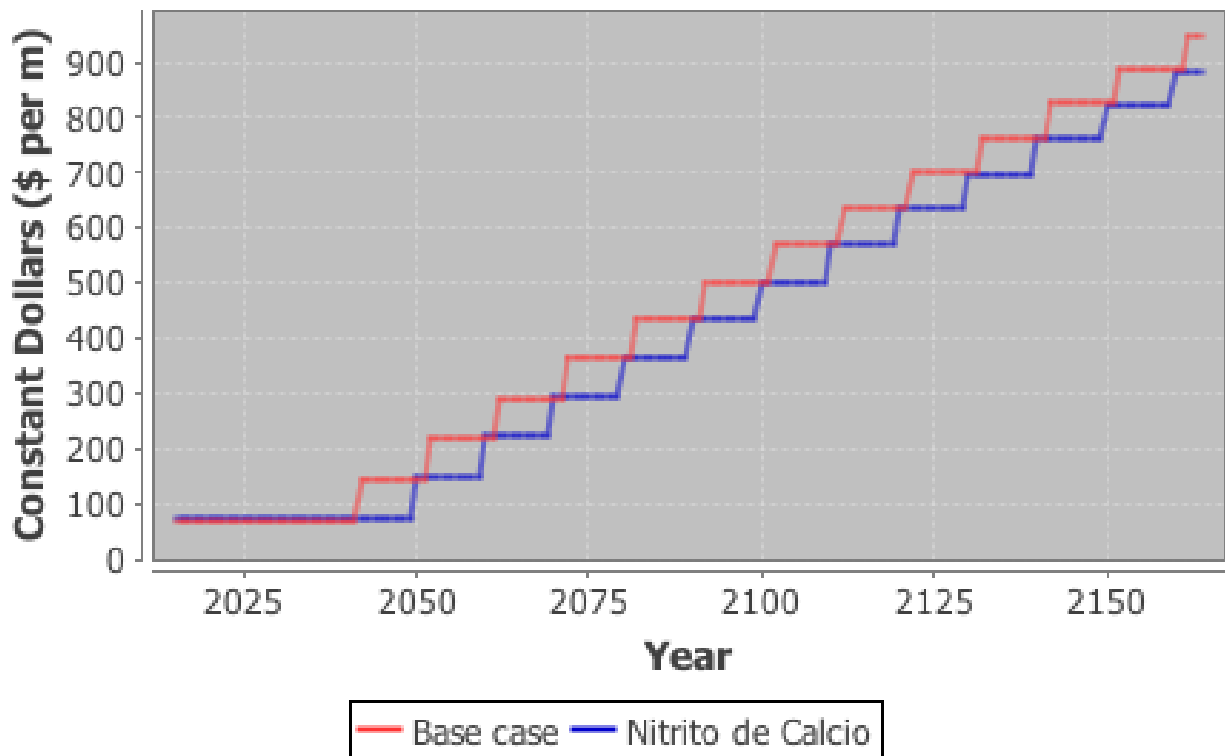


Gráfico #4 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Blue Bay T4”**

### **Pilotes sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Blue Bay T4, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 21 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 27 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años los pilotes deberían de ser intervenidos 11 veces por corrosión.

### **Pilote con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Blue Bay T4, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 29 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 35 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años los pilotes deberían de ser que ser intervenidos 10 veces por corrosión.

### **Pilote con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 103 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 133 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

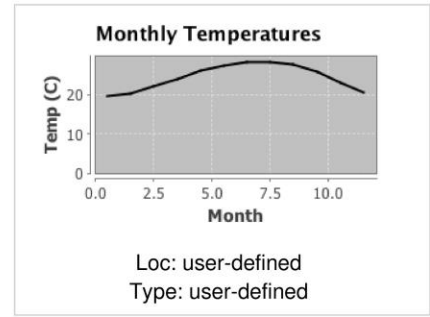
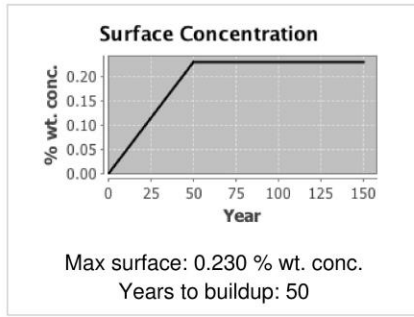
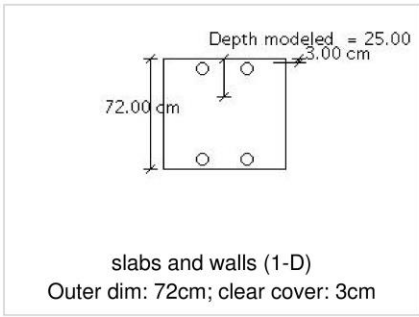
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Blue Bay T4 se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años los pilotes deberán ser intervenidos 1 veces por corrosión.

Project: Edificio Punta Blanca - Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	23 yrs	6 yrs	<b>29 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	89.6 yrs	-> 30 yrs	<b>119.6 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

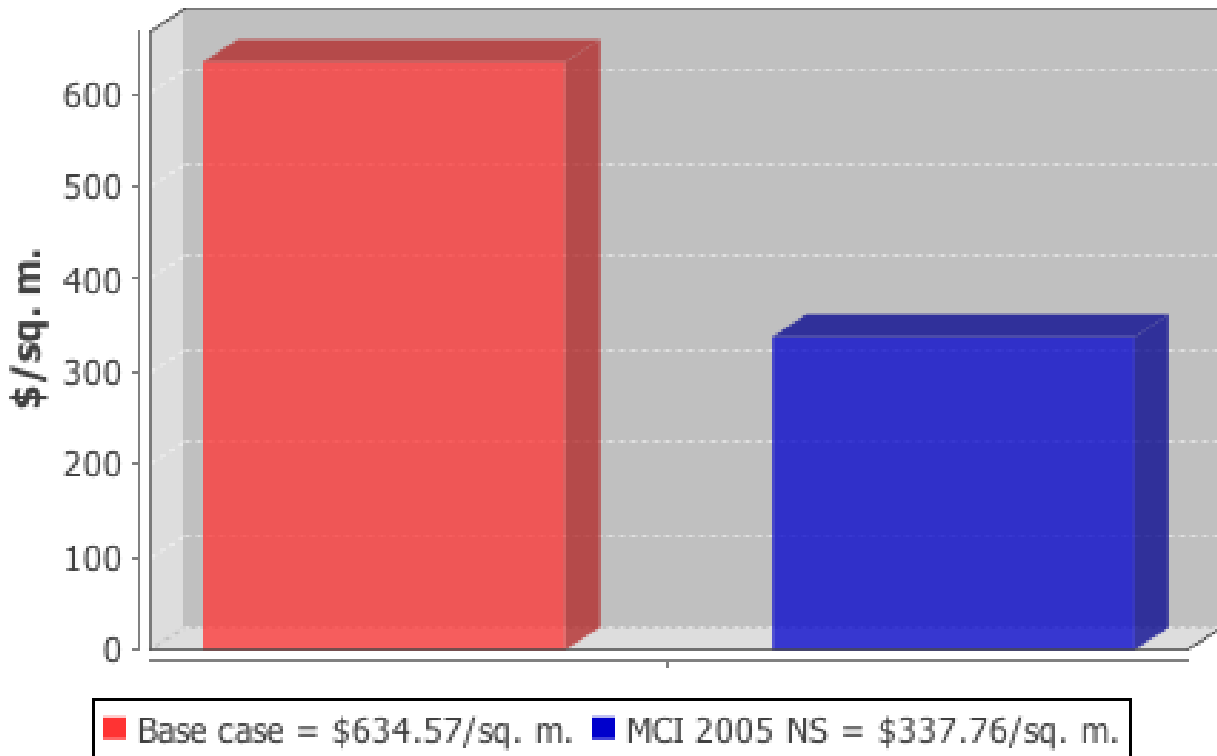
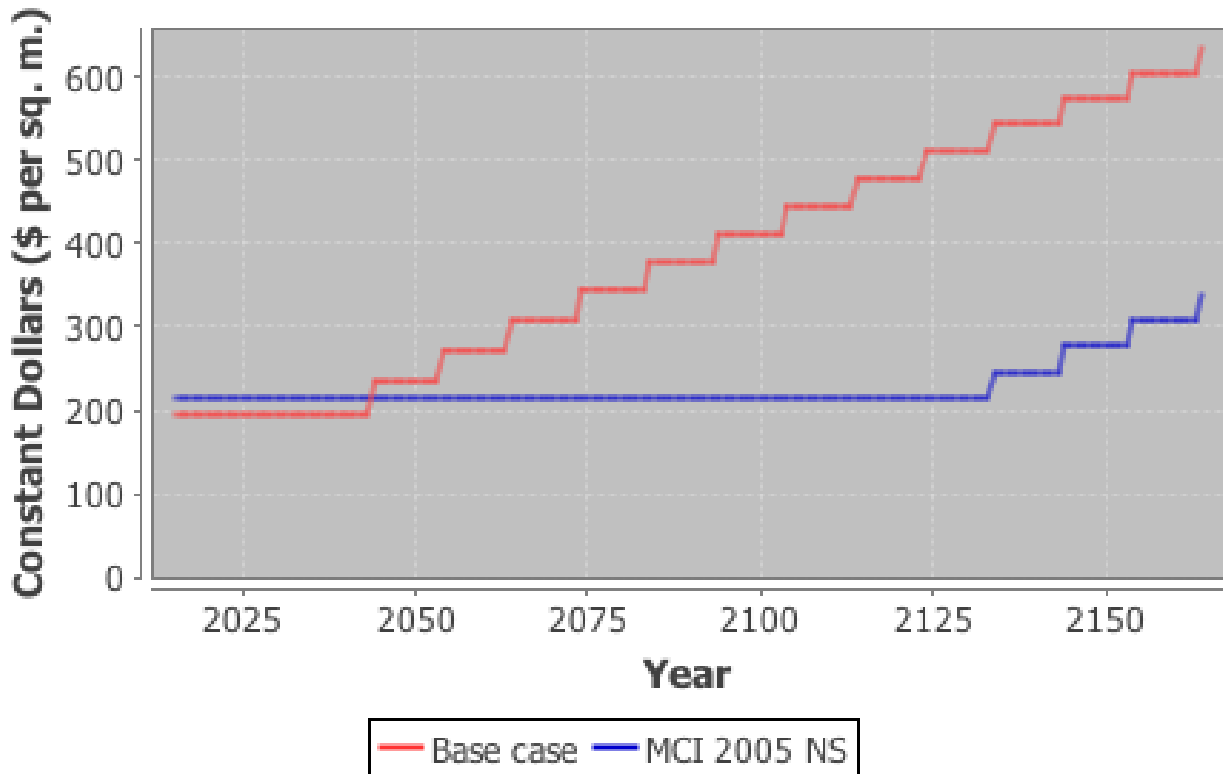


Gráfico #5 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

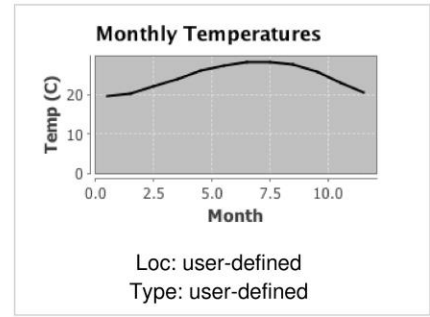
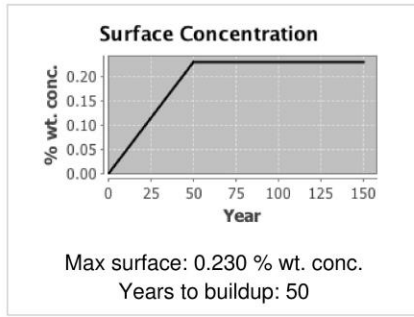
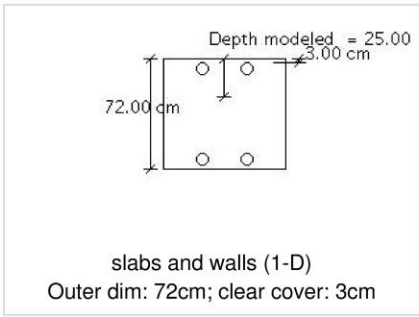


Project: Edificio Punta Blanca - Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Nitrato de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 10 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
Base case	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	23 yrs	6 yrs	<b>29 yrs</b>
Nitrato de Calcio	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.15 % wt. conc.	54.4 yrs	6 yrs	<b>60.4 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Life-Cycle Cost, by Alternative

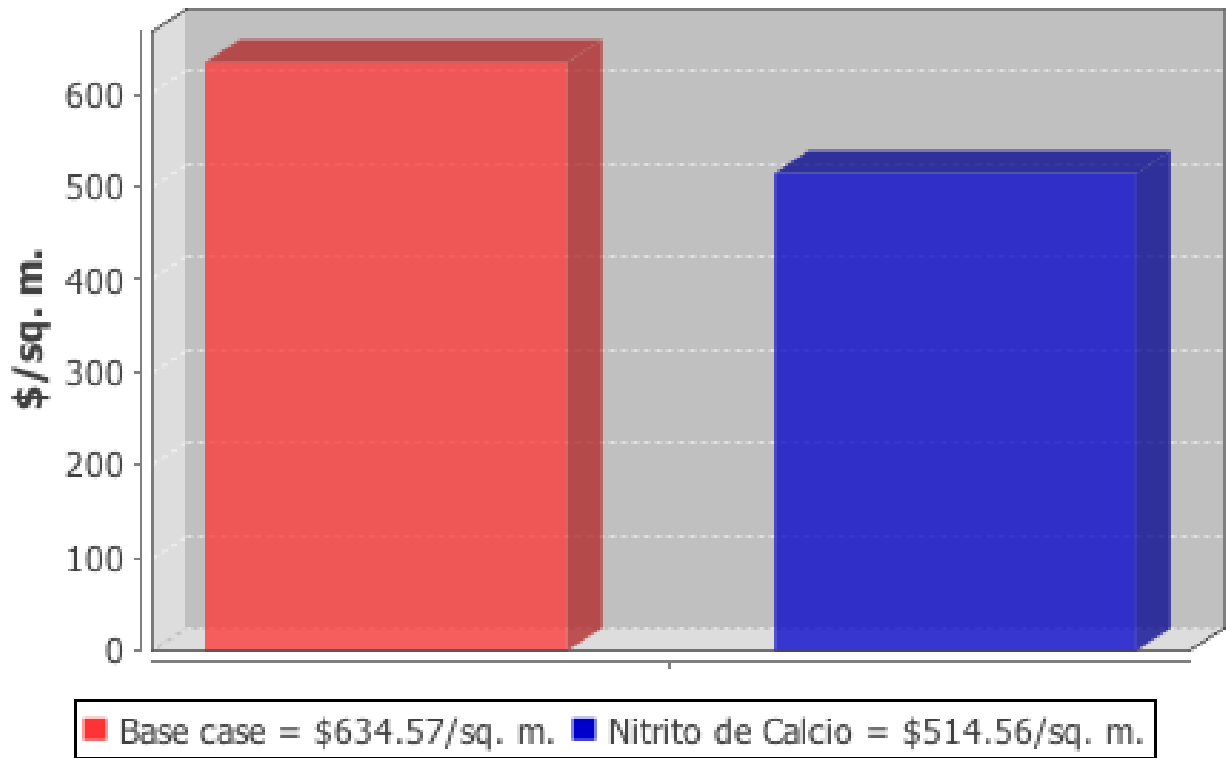
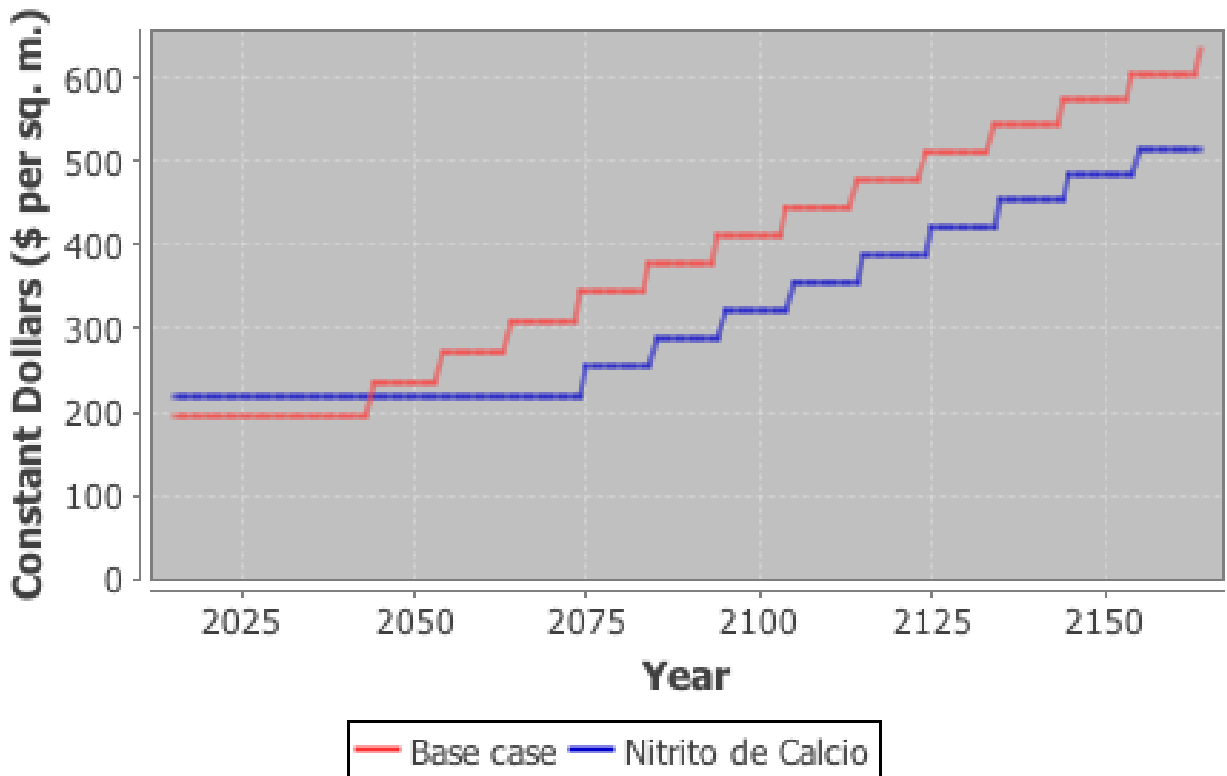


Gráfico #6 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Torre Oceánica”**

### **Columna sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño de Torre Oceánica, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 23 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 29 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Torre Oceánica, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Torre Oceánica se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 54 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 60 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Torre Oceánica se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían ser intervenidas 7 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Torre Oceánica se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 89 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 119 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

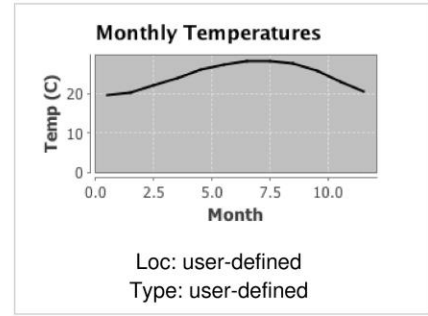
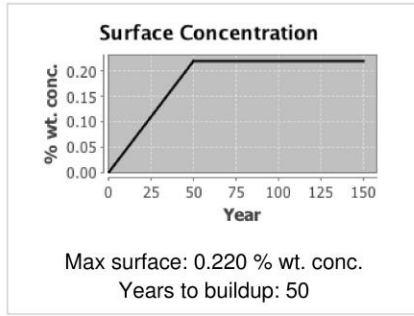
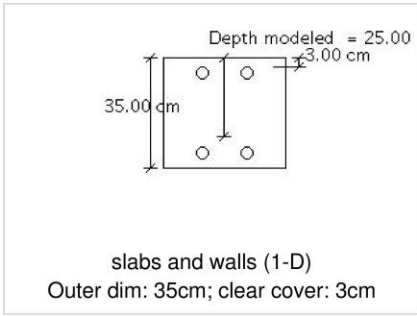
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Torre Oceánica se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las columnas deberán ser intervenidas 1 vez por corrosión.

Project: Edificio Punta Blanca - Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	23.8 yrs	6 yrs	<b>29.8 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 8.87E-12 m <sup>2</sup> /m/sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	116.8 yrs	-> 30 yrs	<b>146.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

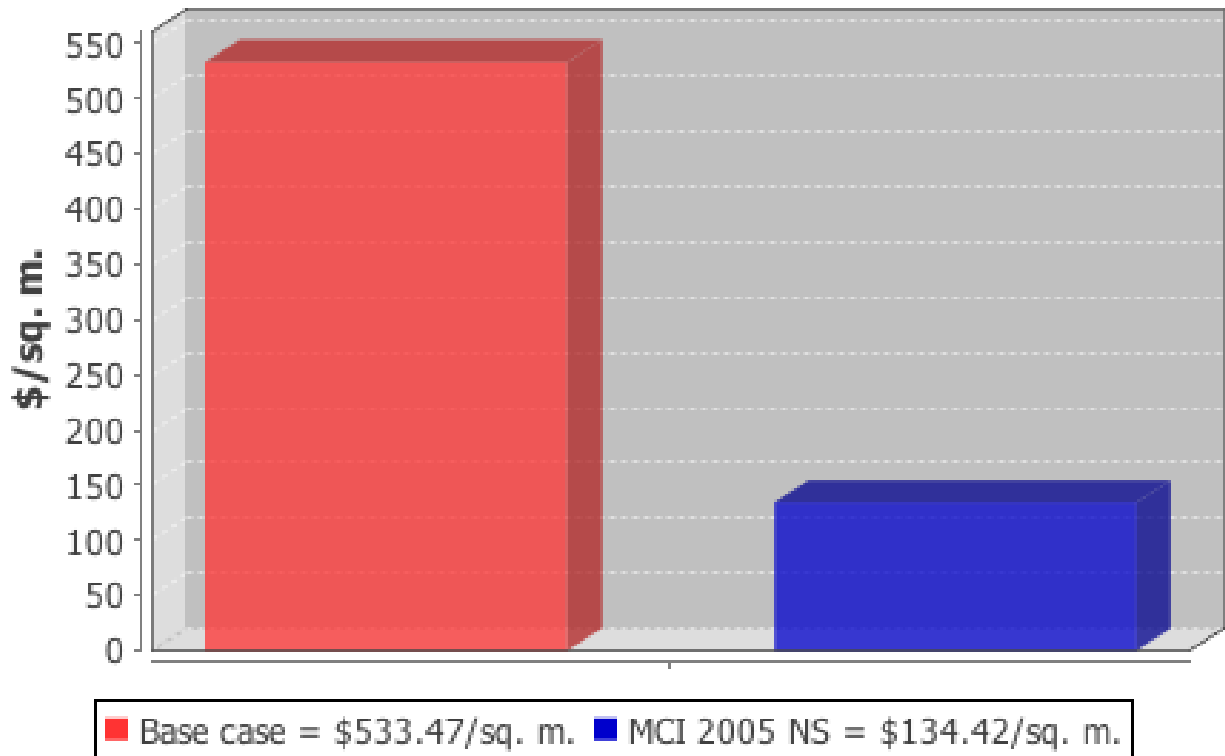
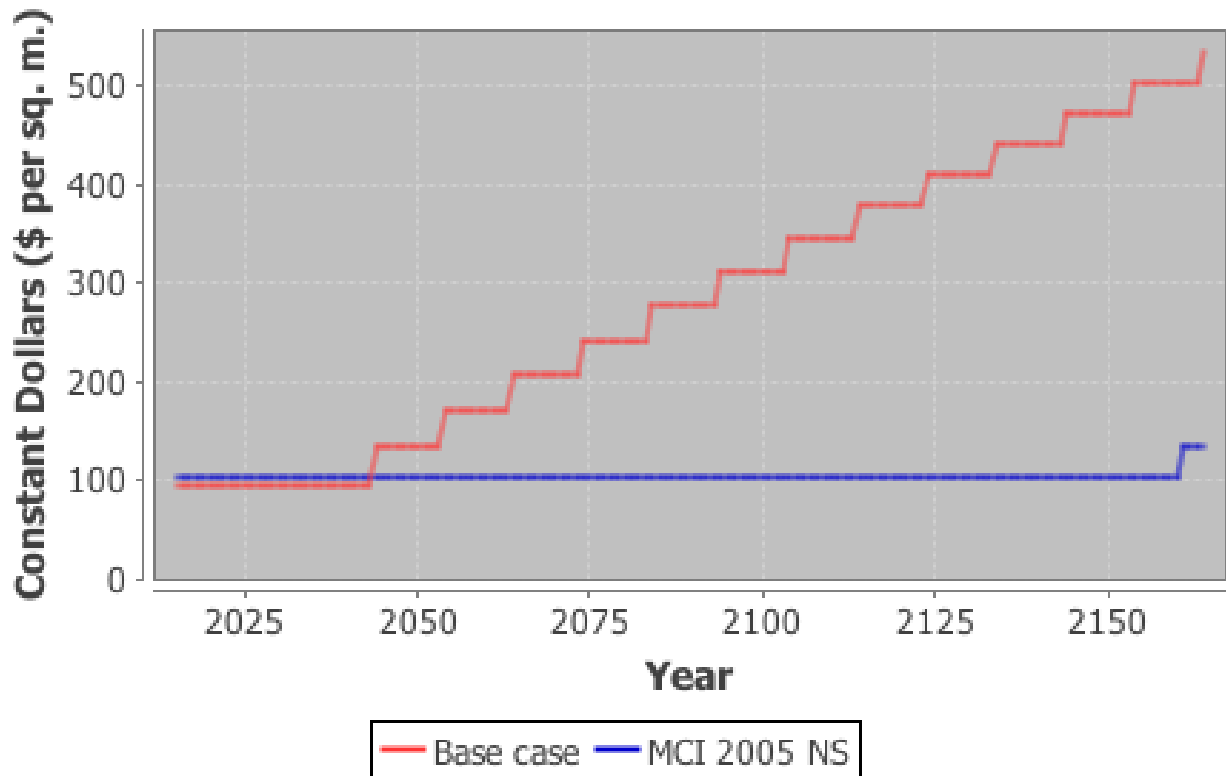


Gráfico #7 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

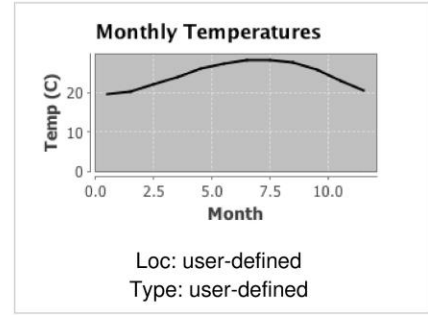
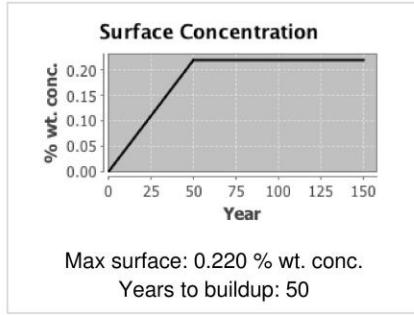
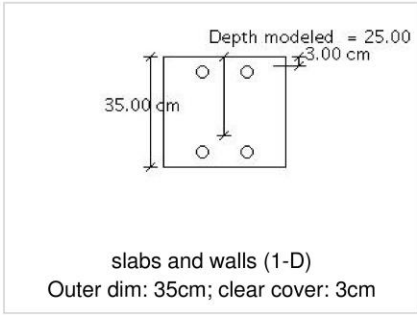


Project: Edificio Punta Blanca - Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Nitrito de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 10 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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	23.8 yrs	6 yrs	<b>29.8 yrs</b>
Nitrito de Calcio	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.15 % wt. conc.	58.2 yrs	6 yrs	<b>64.2 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

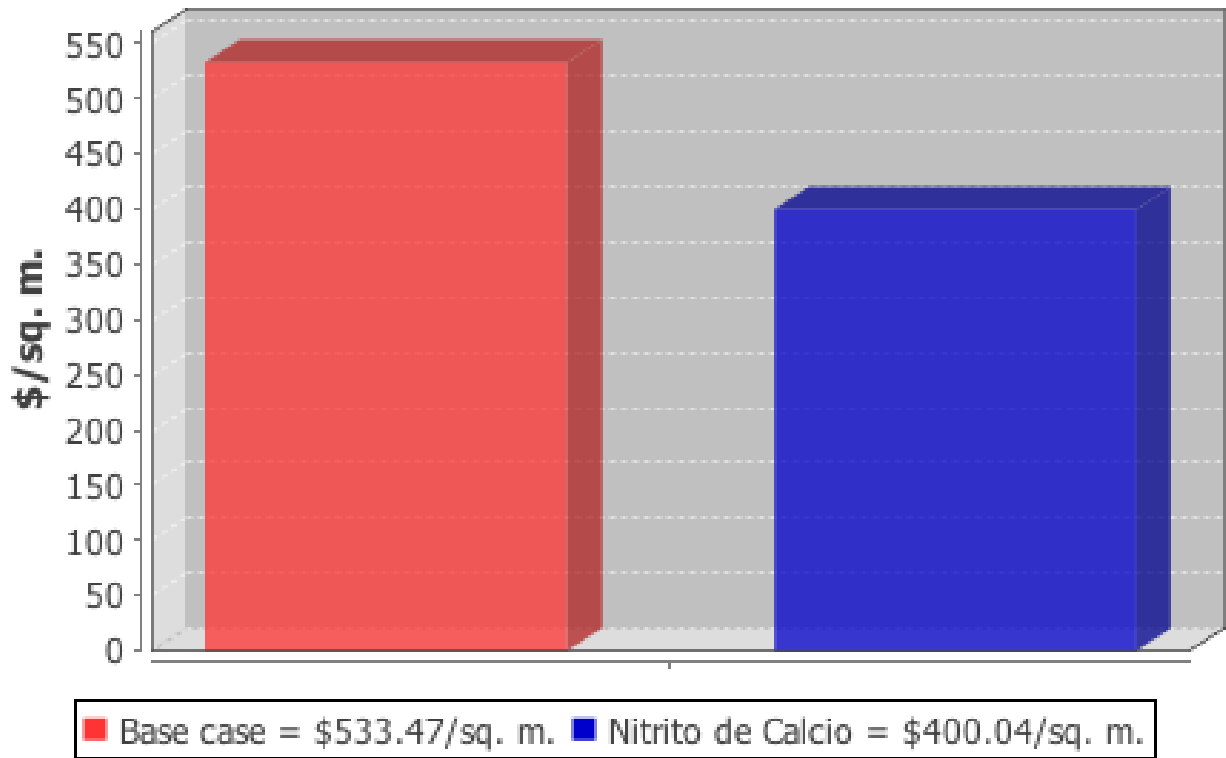


Gráfico #8 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

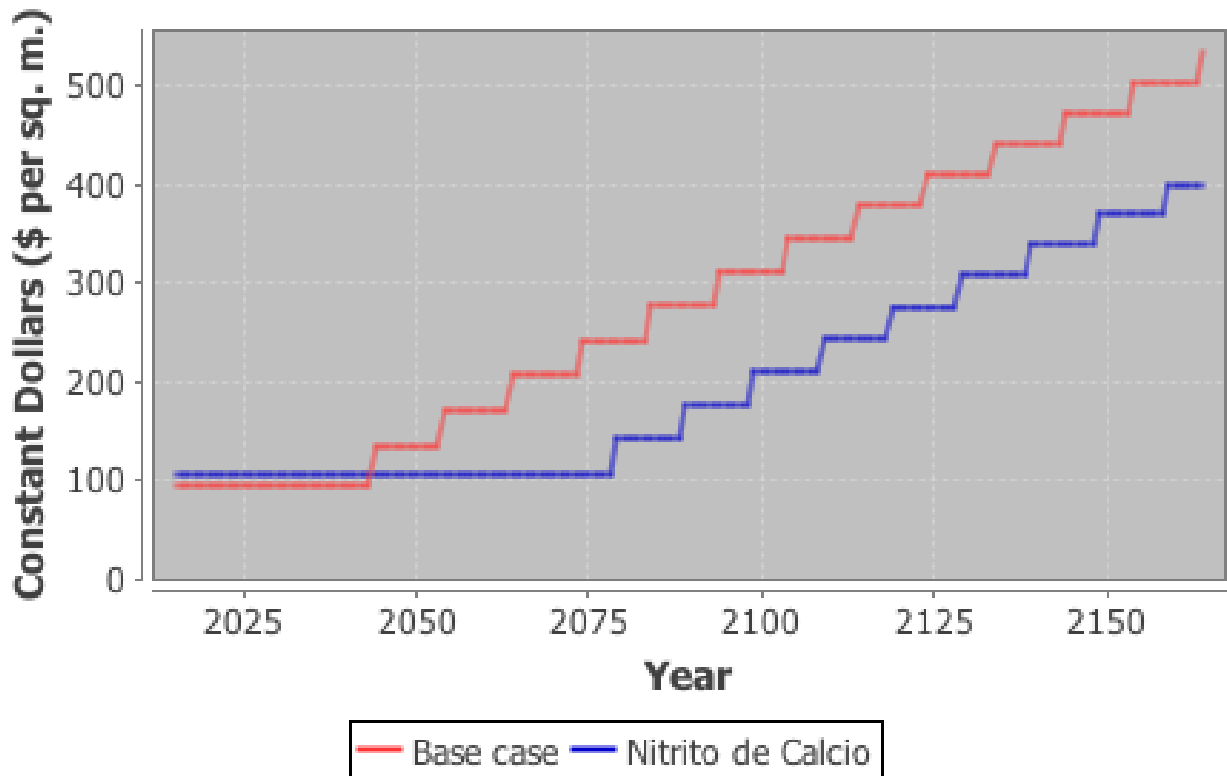


Gráfico #8 Reparación/ Tiempo

## **Análisis de Resultados del Edificio “Torre Oceánica”**

### **Viga sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño de Torre Oceánica se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 23 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 29 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Torre Oceánica se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Viga con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Torre Oceánica, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 58 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 64 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Torre Oceánica, se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser que ser intervenidas 7 veces por corrosión.



### **Viga con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Torre Oceánica, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciara a los 115 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 146 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

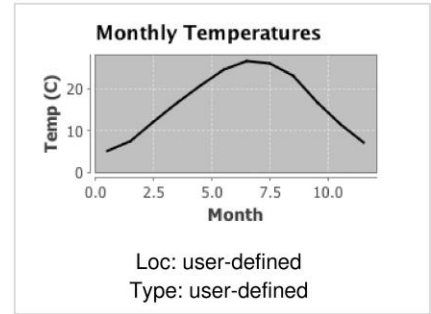
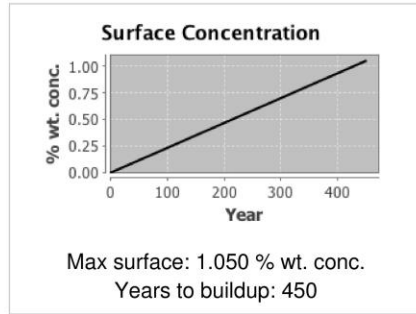
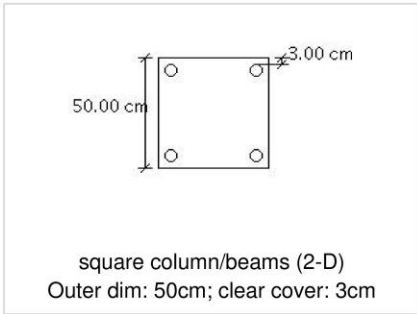
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Torre Oceánica, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las vigas deberán ser intervenidas 1 vez por corrosión.

Project: Edificio Cubico Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	28.2 yrs	6 yrs	<b>34.2 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	86.8 yrs	-> 30 yrs	<b>116.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

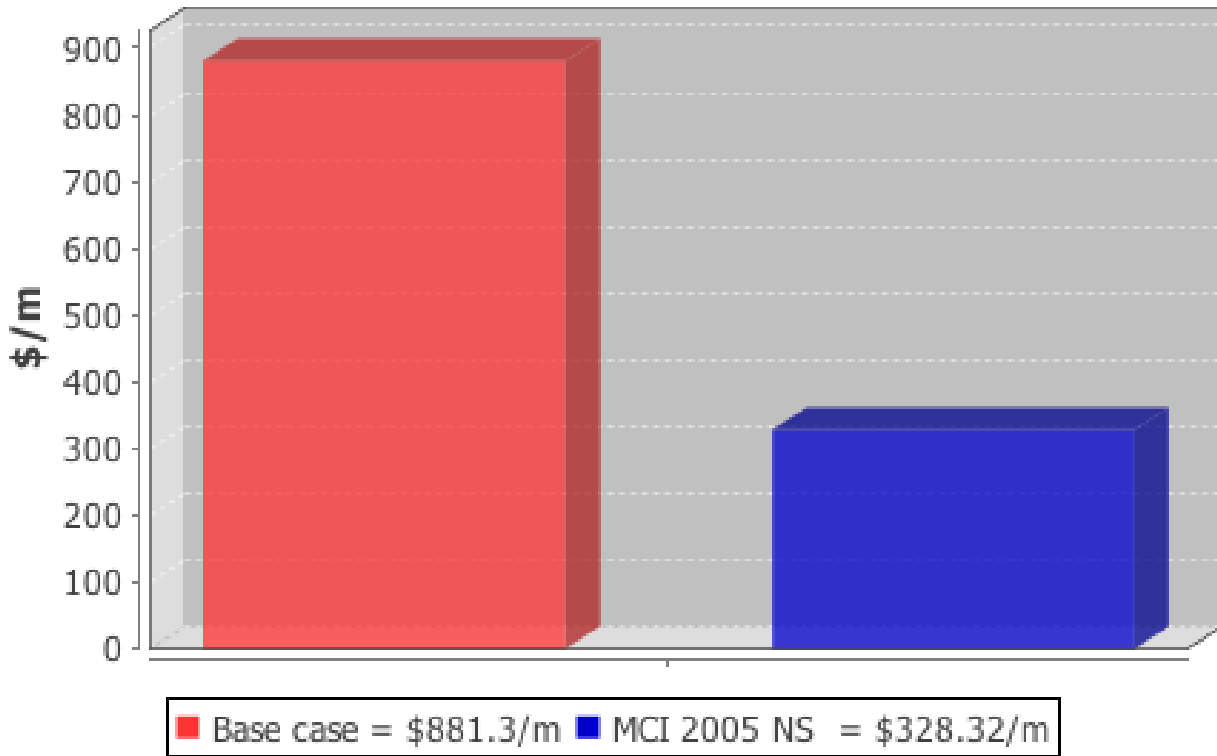
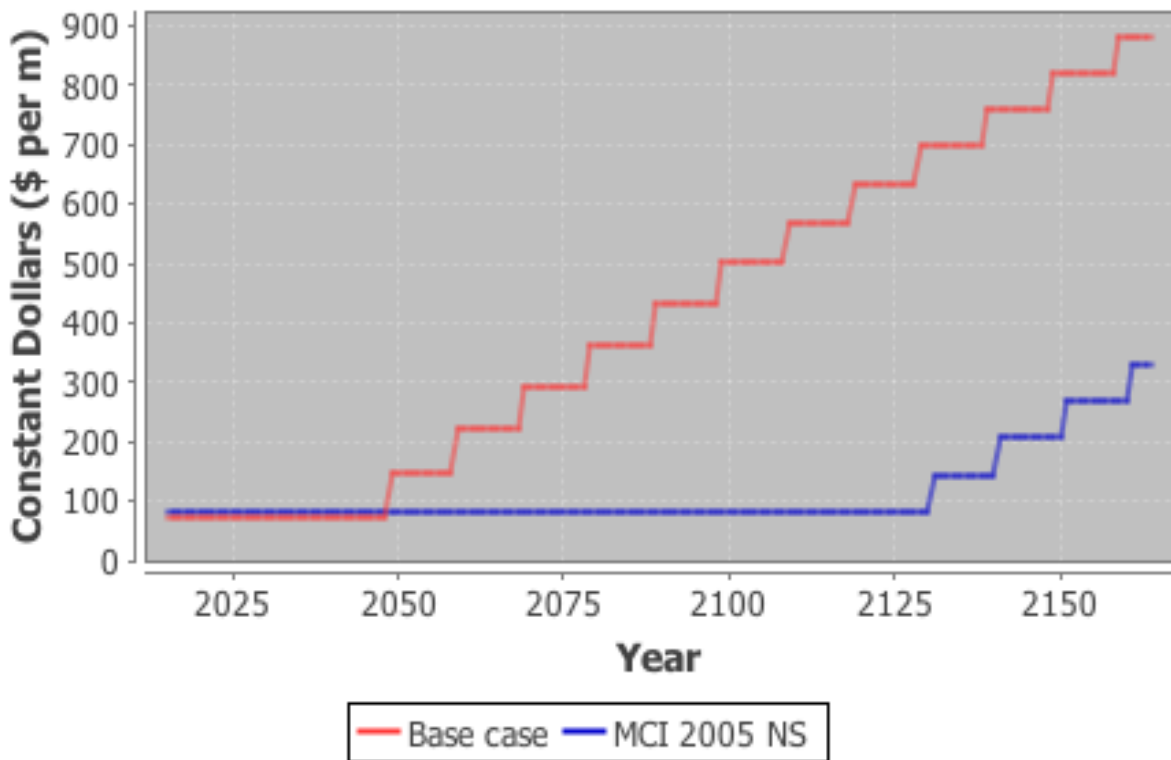


Gráfico #9 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

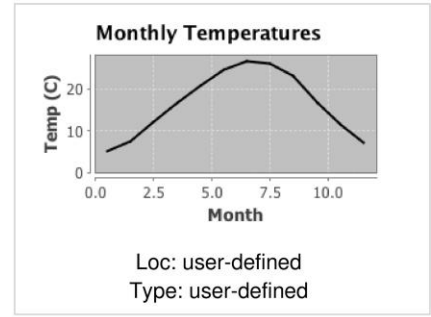
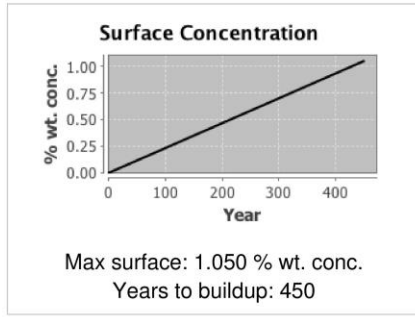
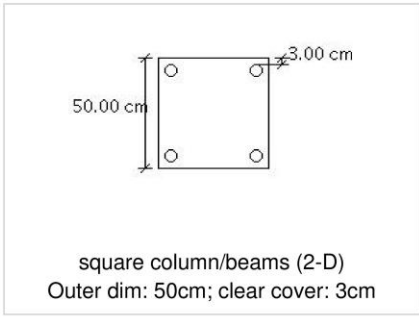


Project: Edificio Cubico Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Nitrato de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	28.2 yrs	6 yrs	<b>34.2 yrs</b>
Nitrato de Calcio	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.07 % wt. conc.	39.8 yrs	6 yrs	<b>45.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

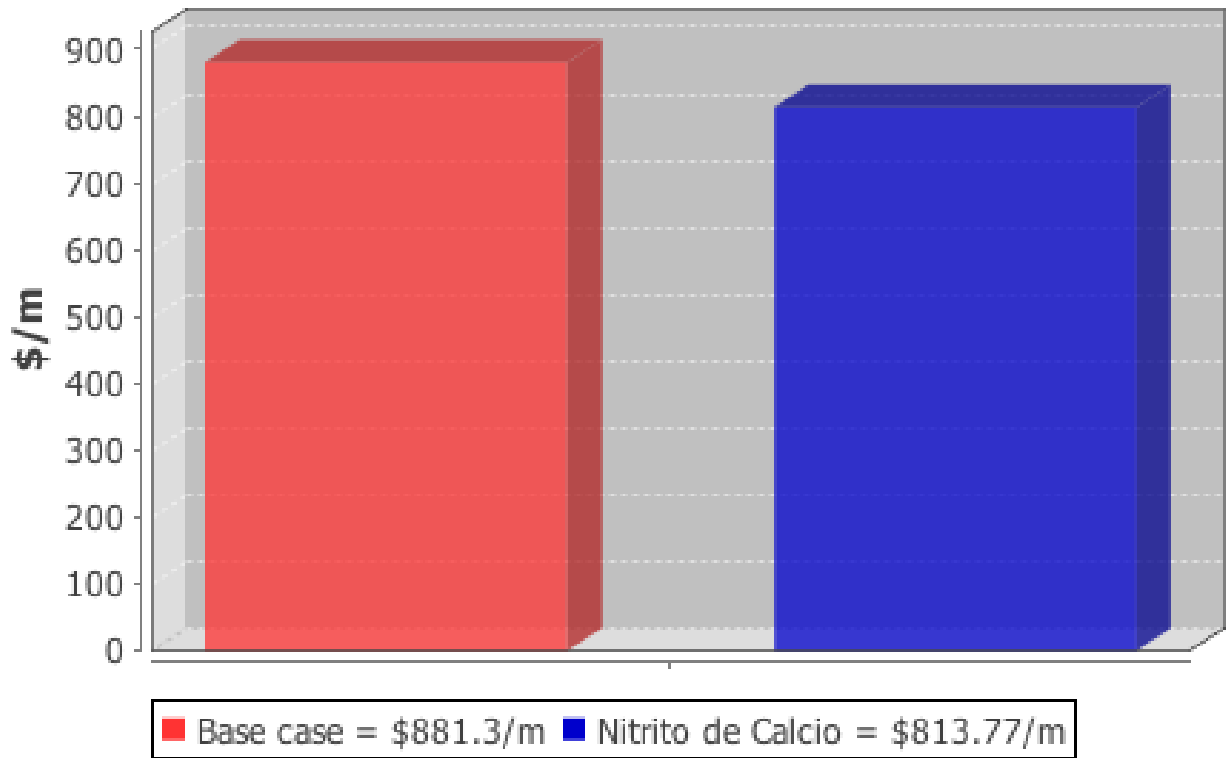
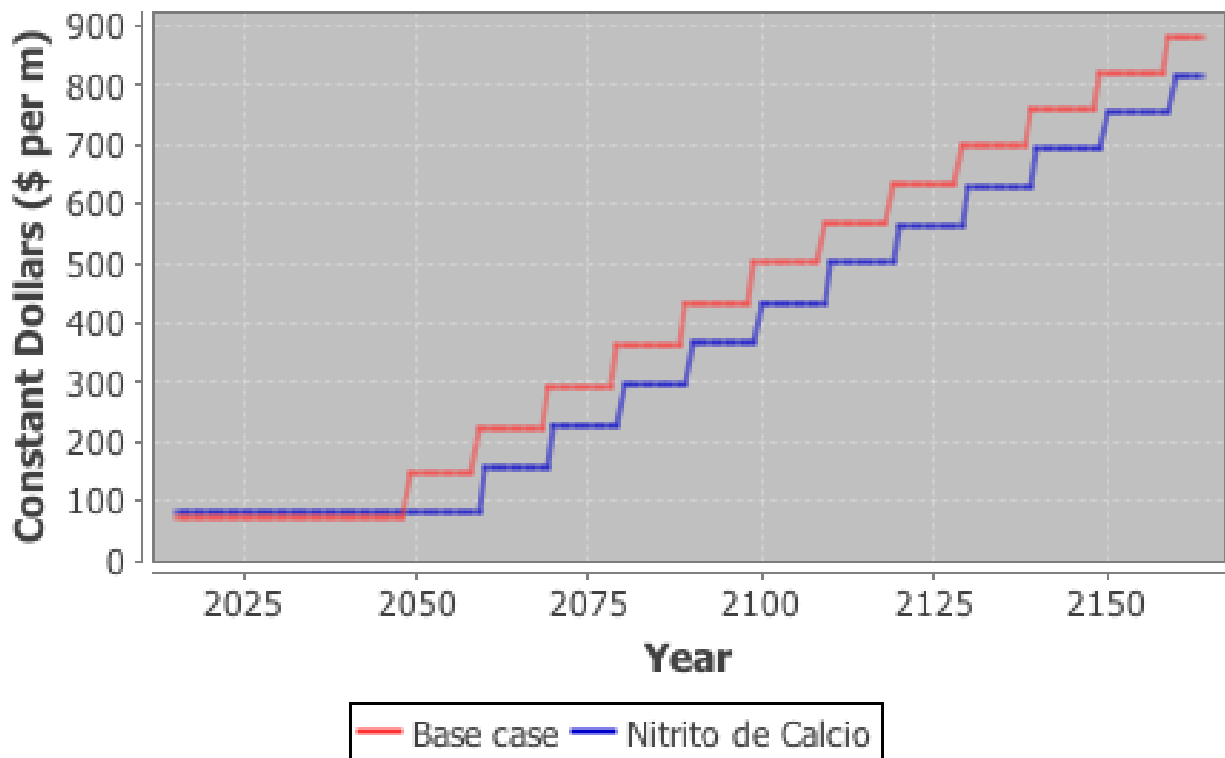


Gráfico #10 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Cúbico”**

### **Columna sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Cúbico se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 28 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 34 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Cúbico se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 39 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 45 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Cúbico se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser que ser intervenidas 9 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 86 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 116 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

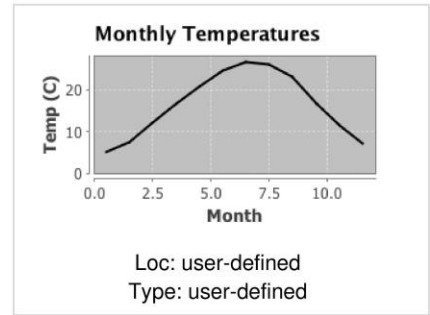
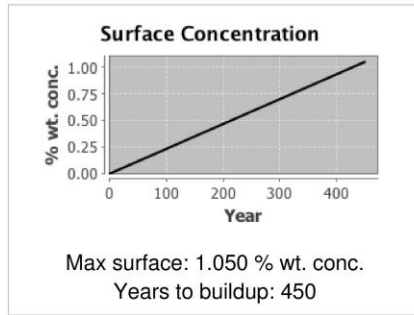
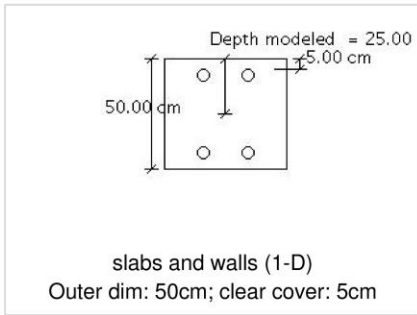
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las columnas deberán ser intervenidas por corrosión 2 veces.

Project: Edificio Cubico Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	53 yrs	6 yrs	<b>59 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	134.3 yrs	-> 30 yrs	<b>164.3 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Life-Cycle Cost, by Alternative

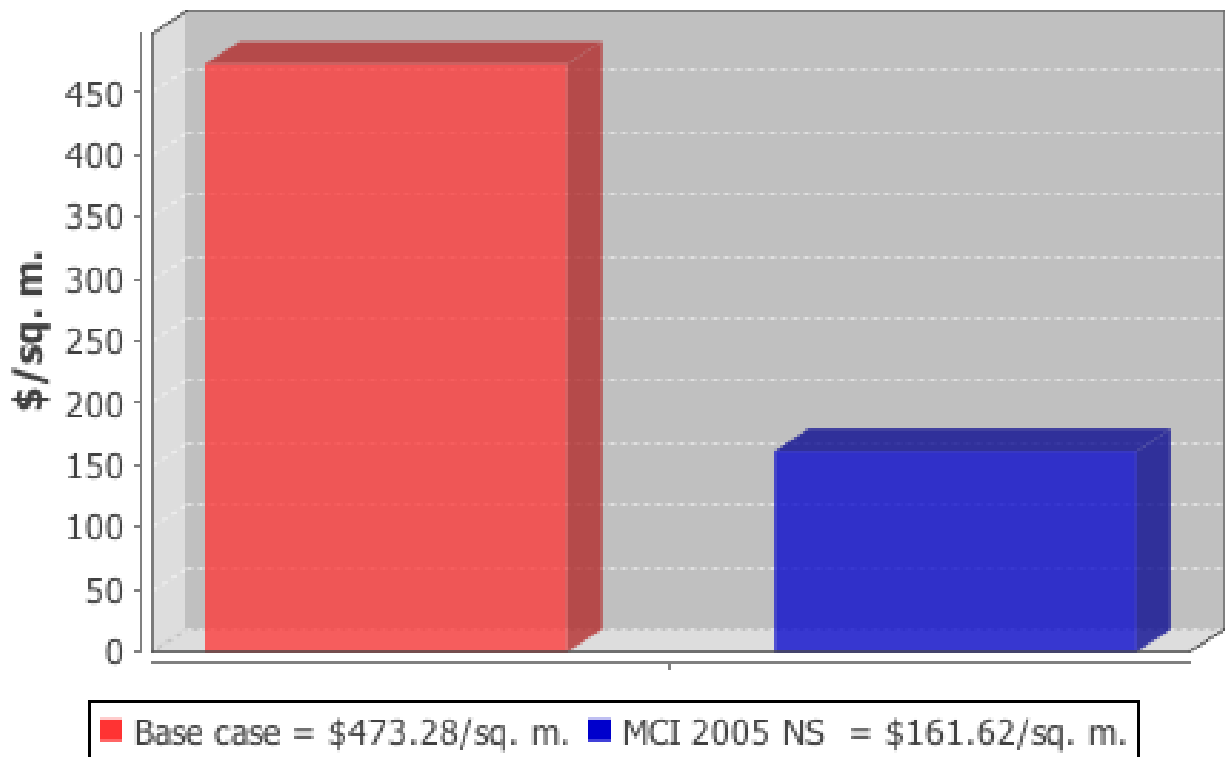
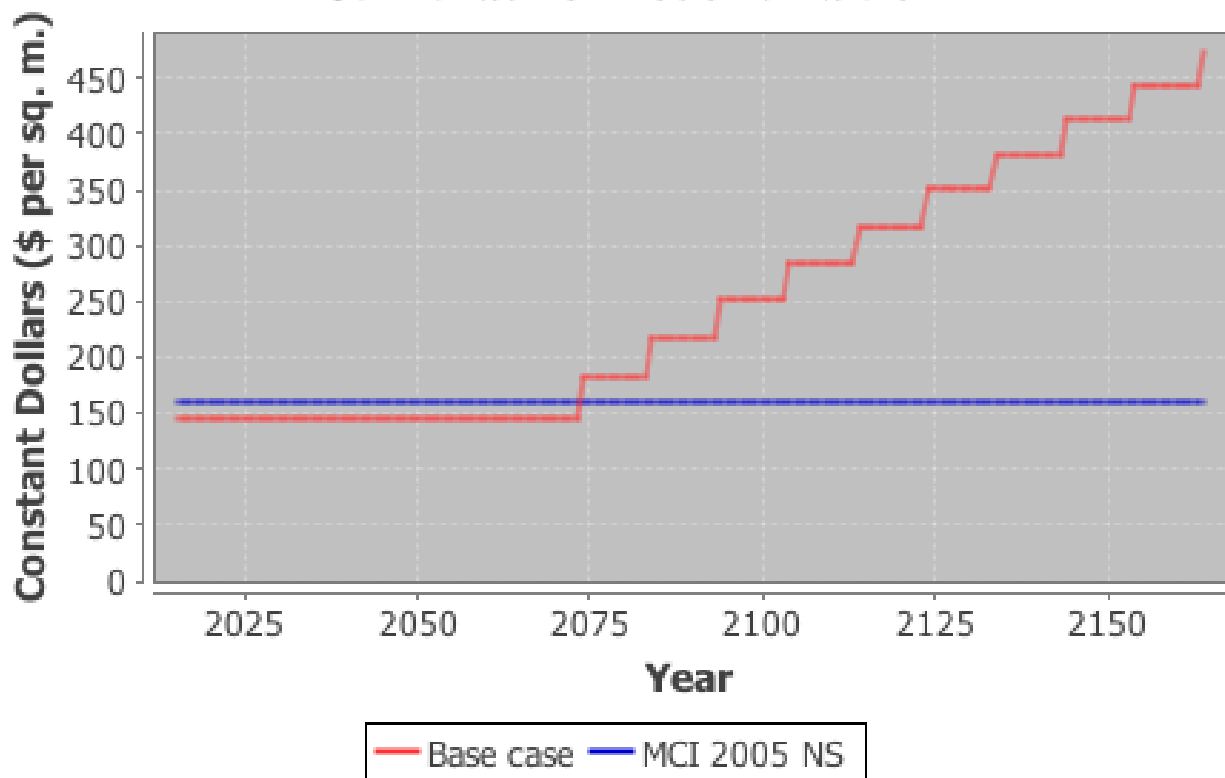


Gráfico #10 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

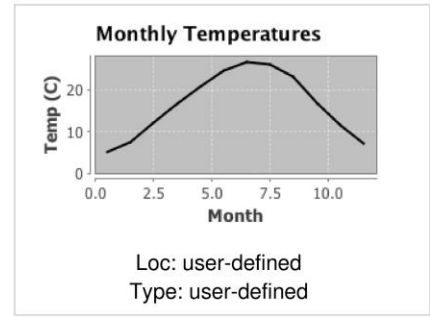
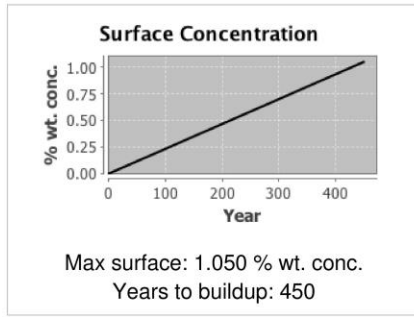
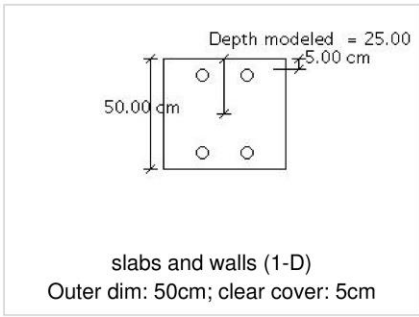


Project: Edificio Cubico Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Nitrato de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	53 yrs	6 yrs	<b>59 yrs</b>
Nitrato de Calcio	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.07 % wt. conc.	70.2 yrs	6 yrs	<b>76.2 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

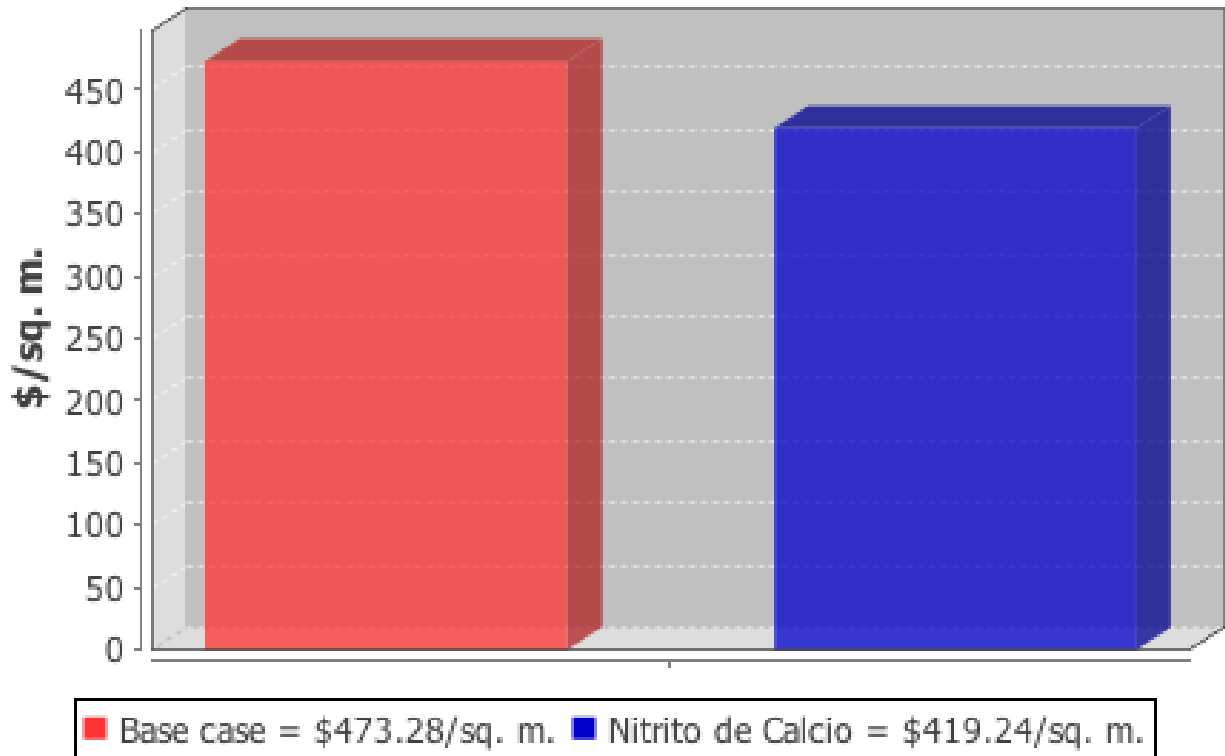
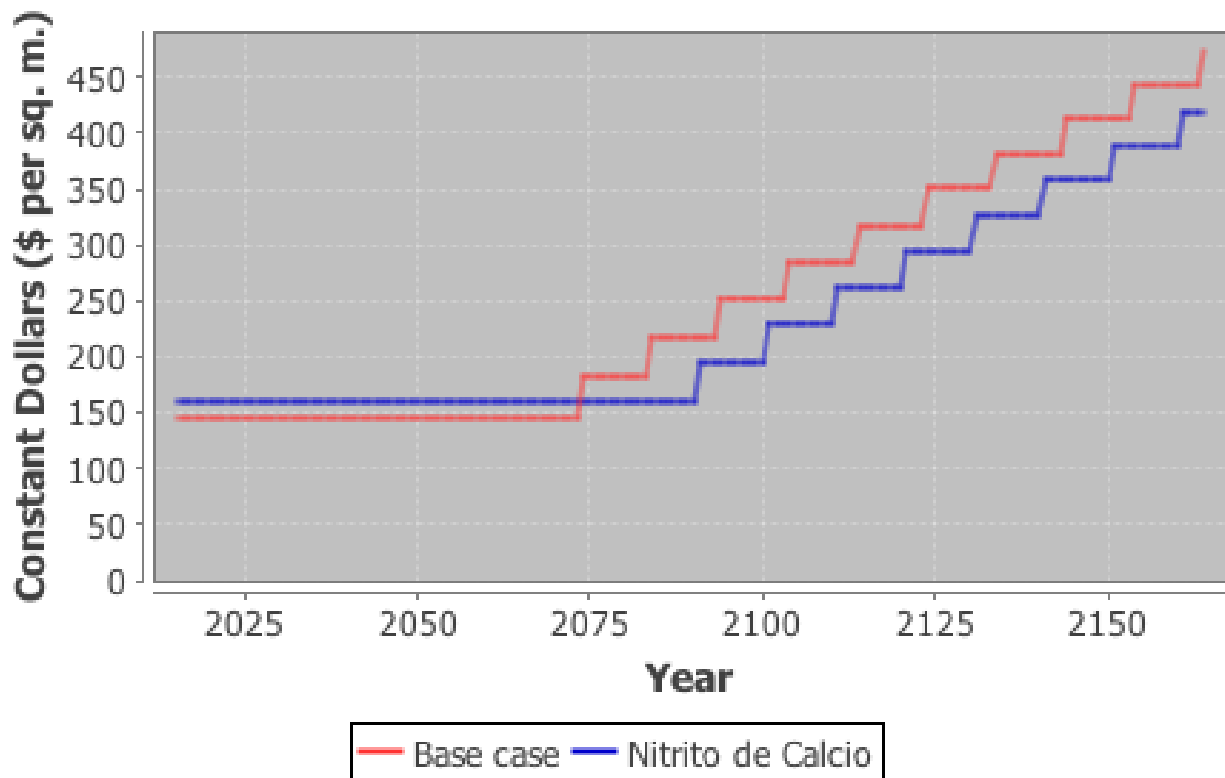


Gráfico #11 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Cúbico”**

### **Viga sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 53 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 59 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser intervenidas 8 veces por corrosión.

### **Viga con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Cúbico se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 70 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 76 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser que ser intervenidas 6 veces por corrosión.

### **Viga con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 134 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 164 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

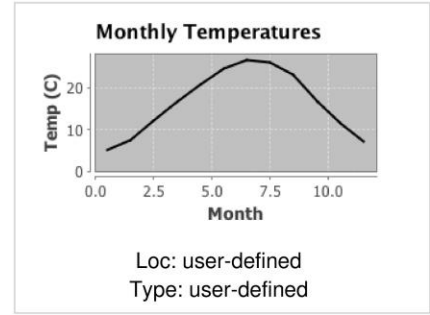
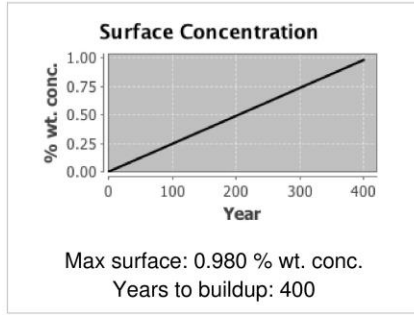
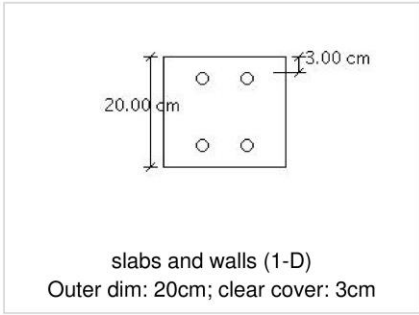
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Cúbico, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las vigas no deberán ser intervenidas por corrosión.

Project: Condominio El Velero - Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.5				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	1.38E-11 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	34.3 yrs	6 yrs	<b>40.3 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 1.38E-11 m*m/sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	100 yrs	-> 30 yrs	<b>130 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

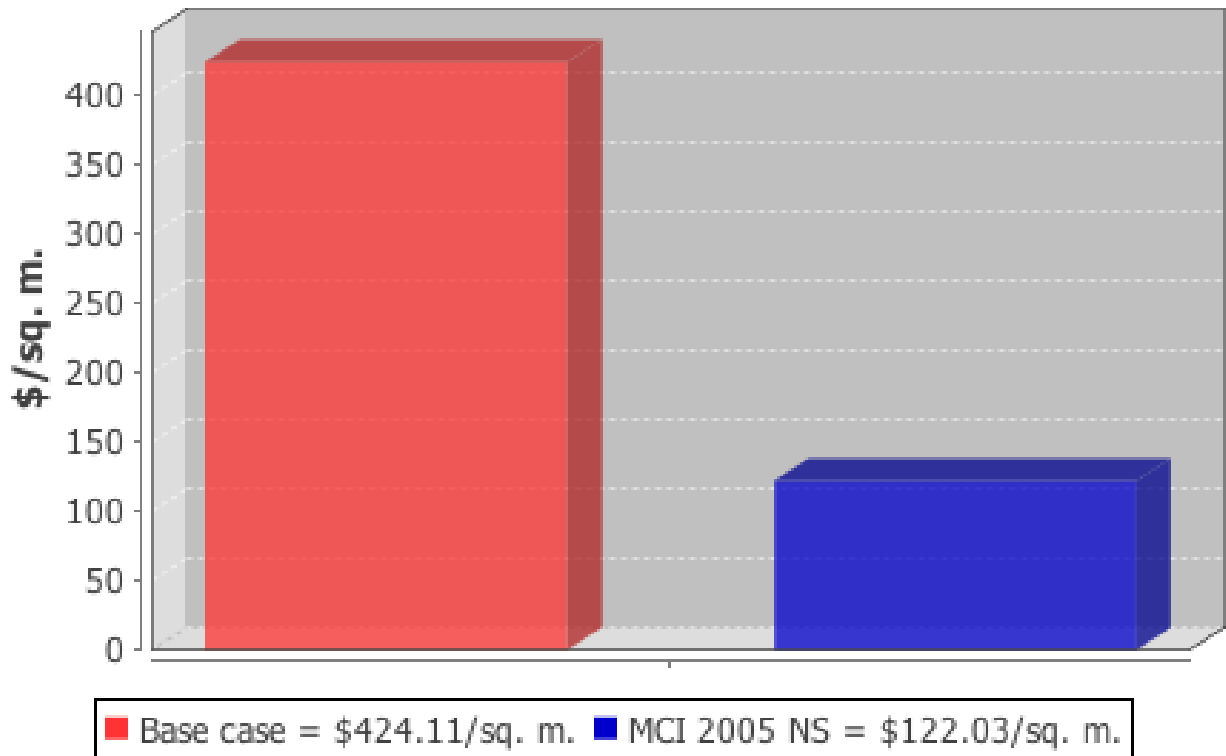
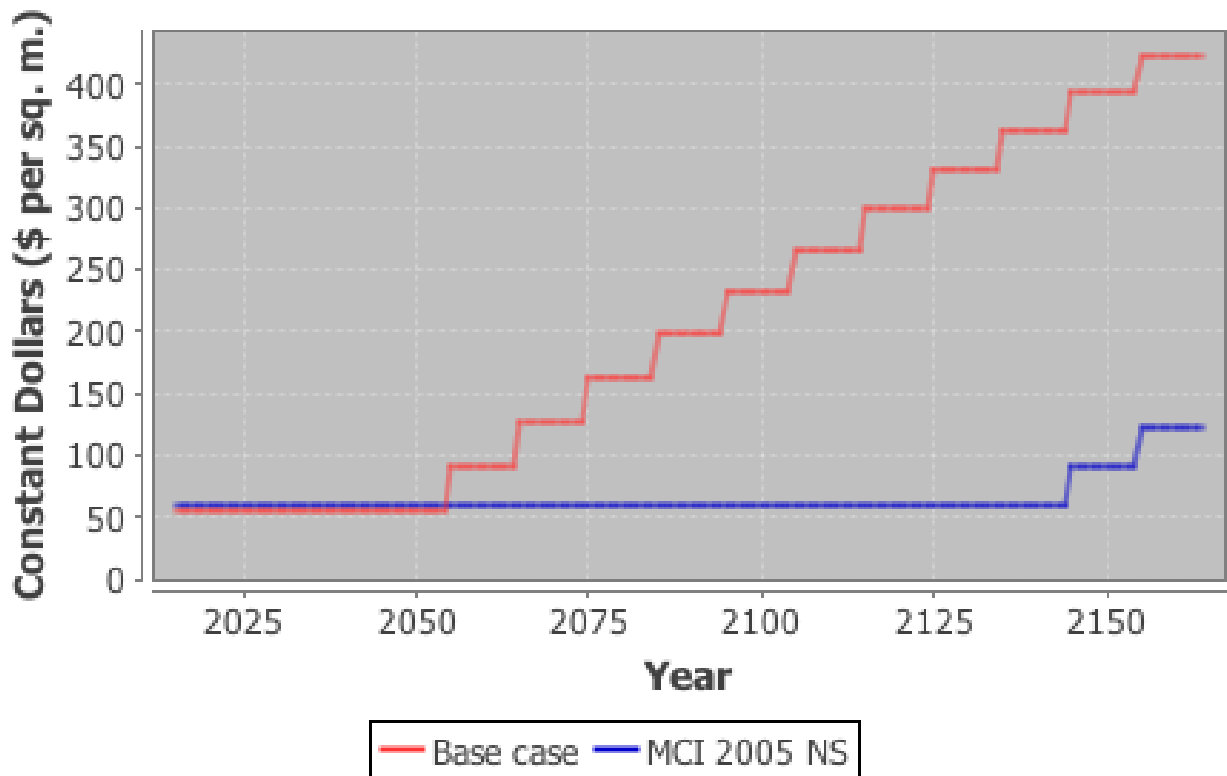


Gráfico #12 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

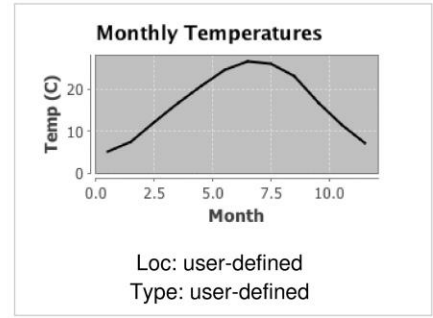
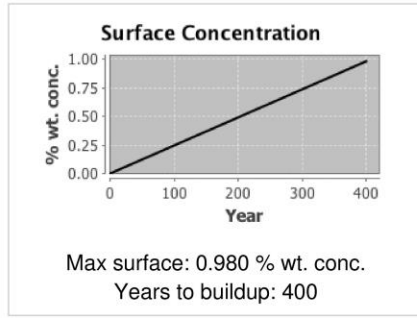
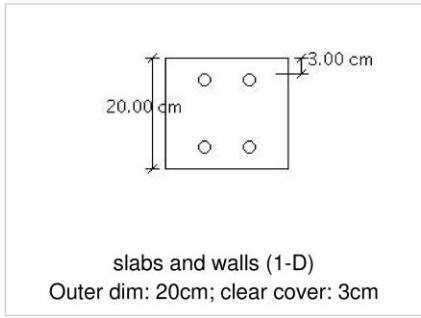


Project: Condominio El Velero - Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.5				Black Steel
Nitrito de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	1.38E-11 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	34.3 yrs	6 yrs	<b>40.3 yrs</b>
Nitrito de Calcio	8.87E-12 m*m/sec	0.2	0.07 % wt. conc.	52.1 yrs	6 yrs	<b>58.1 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Life-Cycle Cost, by Alternative

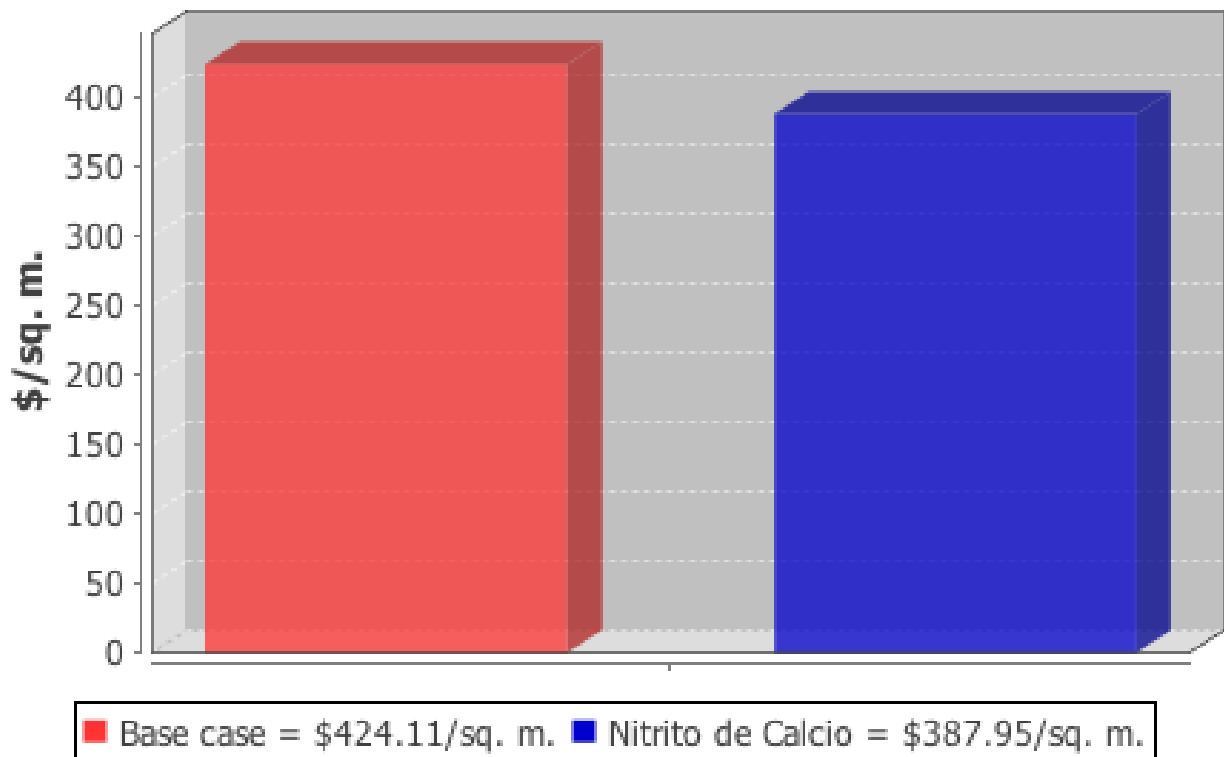
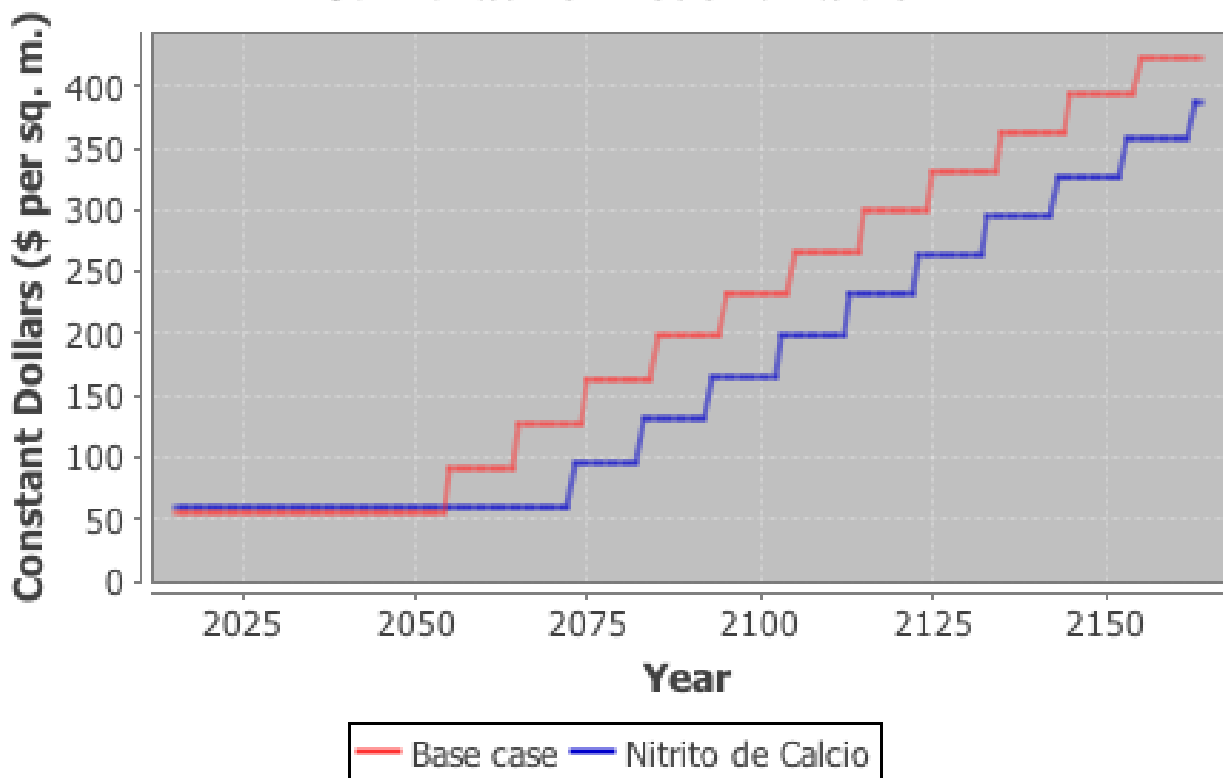


Gráfico #13 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “El Velero”**

### **Columna sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio El Velero, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 34 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 40 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio El Velero, se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio El Velero se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 52 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 58 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio El Velero, se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser que ser intervenidas 8 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio El Velero, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructuras iniciará a los 100 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 130 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

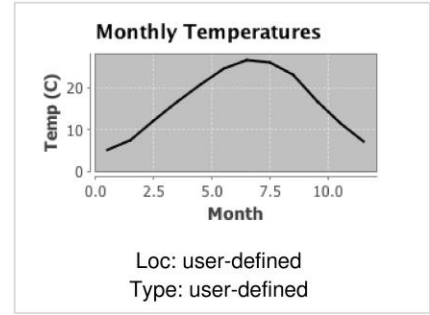
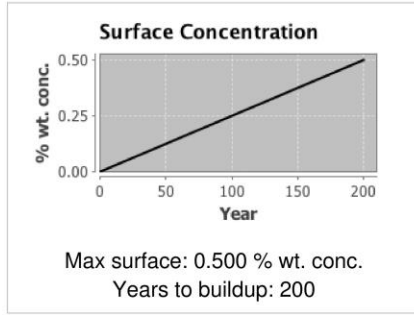
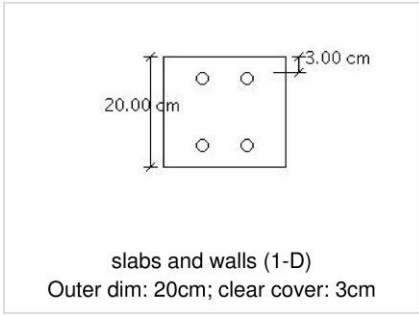
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio El Velero, se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las columnas deberán ser intervenidas 1 veces por corrosión.

Project: Condominio El Velero - Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case	yes	n/a	n/a	n/a		Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	-> 1.38E-11 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.05 % wt. conc.	33.8 yrs	-> 6 yrs	<b>39.8 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 1.38E-11 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	98.2 yrs	-> 30 yrs	<b>128.2 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

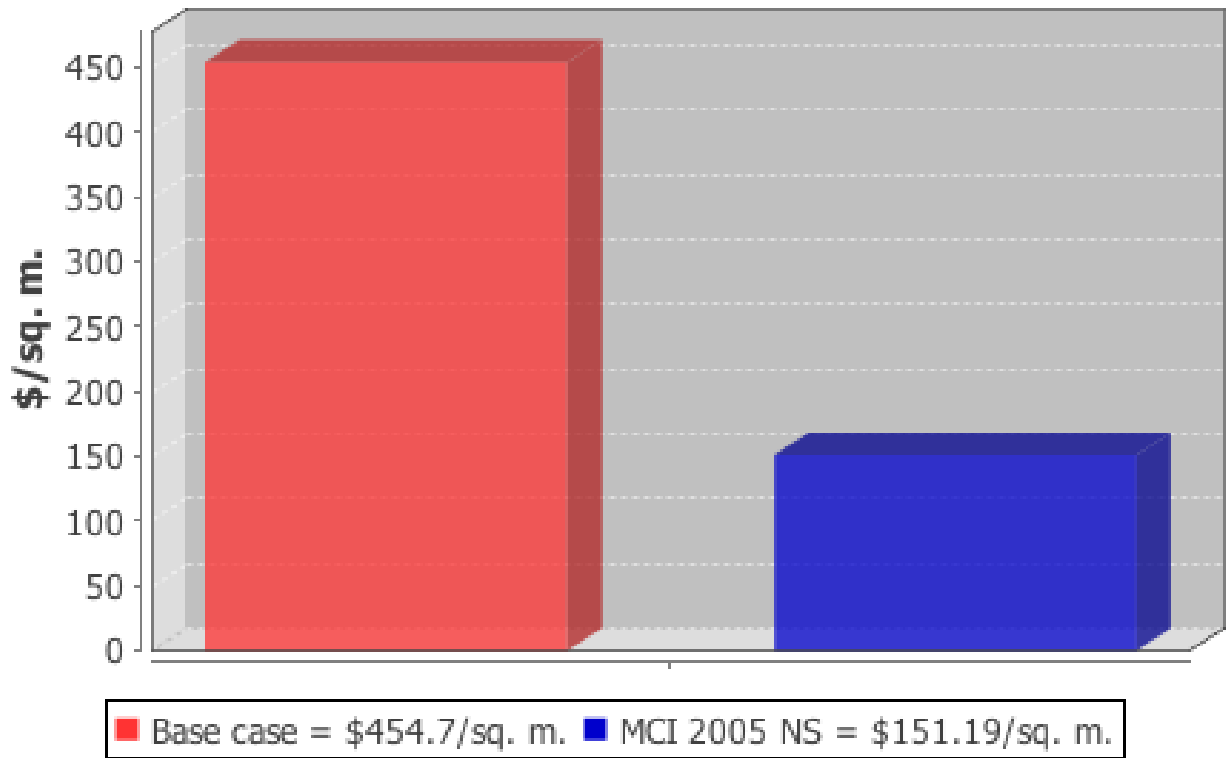
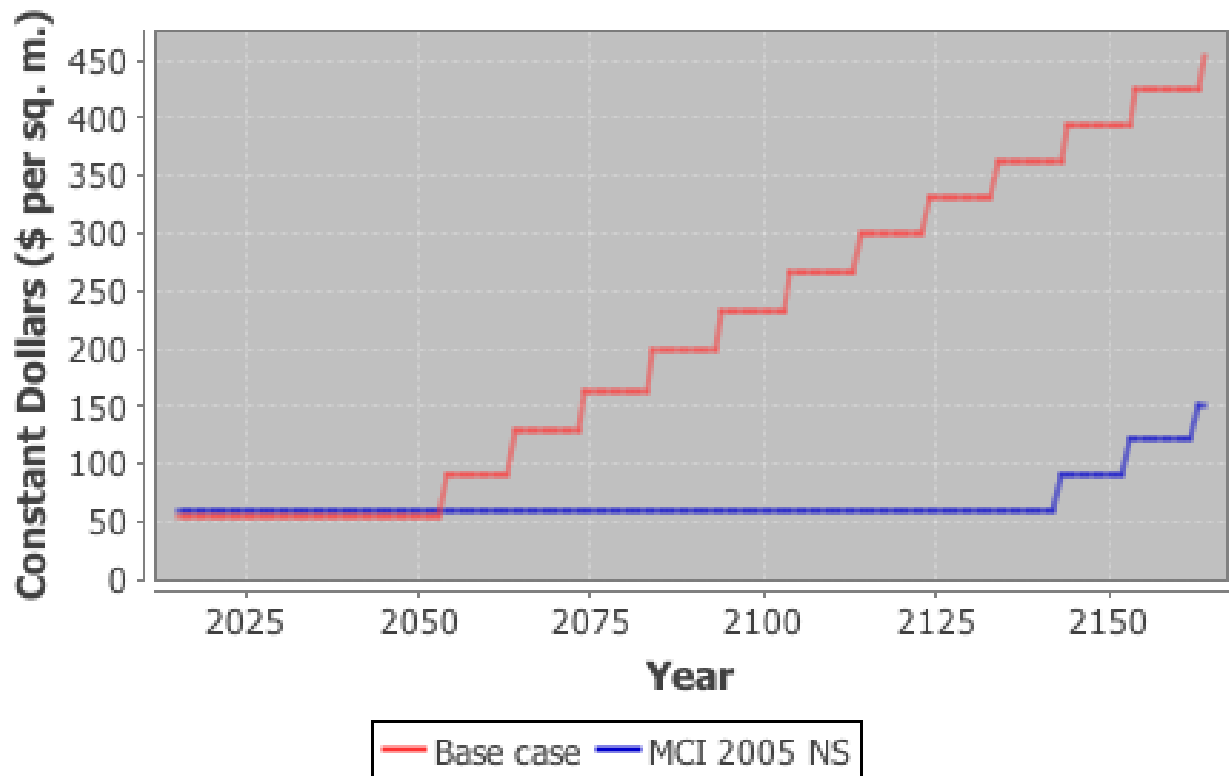


Gráfico #14 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

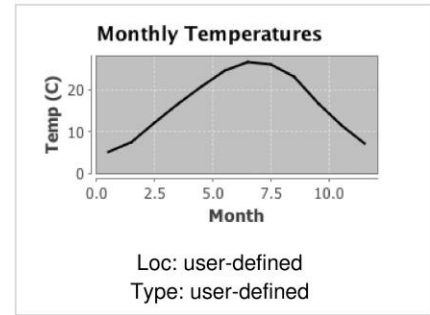
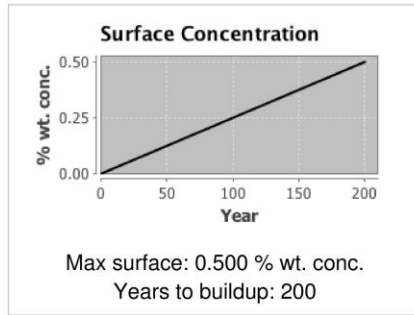
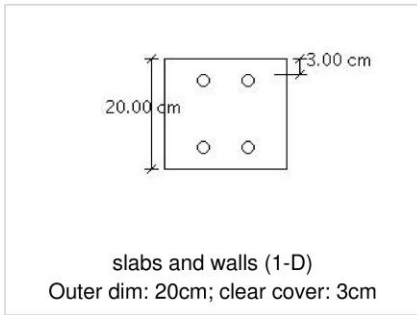


Project: Condominio El Velero - Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case	yes	n/a	n/a	n/a		Black Steel
Nitrito de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	-> 1.38E-11 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.05 % wt. conc.	33.8 yrs	-> 6 yrs	<b>39.8 yrs</b>
Nitrito de Calcio	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.07 % wt. conc.	51.2 yrs	6 yrs	<b>57.2 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

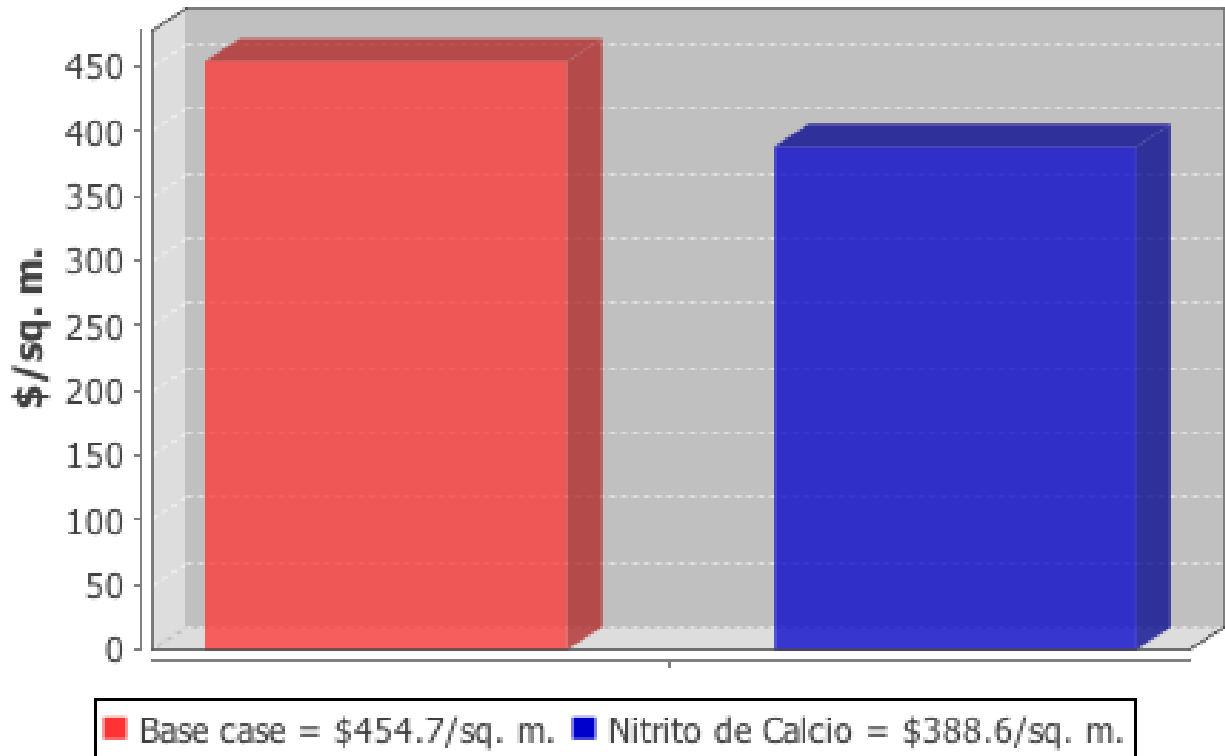
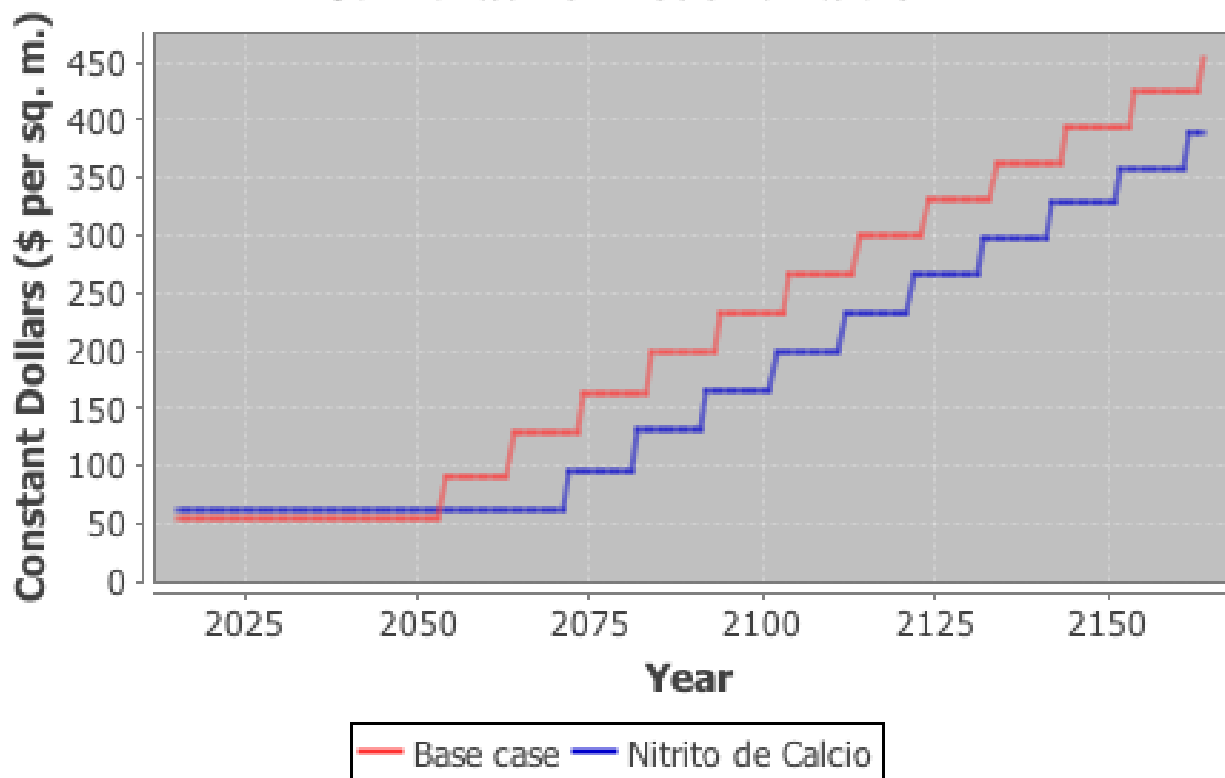


Gráfico #15 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “El Velero”**

### **Viga sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio El Velero se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 33 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 39 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio El Velero se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Viga con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio El Velero se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 51 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 57 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio El Velero se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser que ser intervenidas 8 veces por corrosión.



### **Viga con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio El Velero se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de la estructura iniciará a los 98 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 128 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

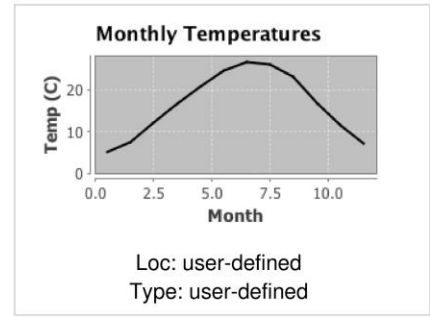
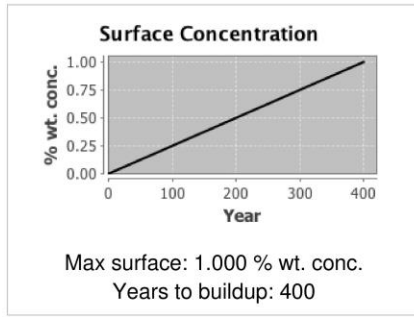
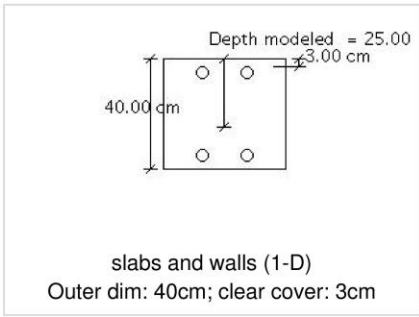
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio El Velero se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las vigas deberán ser intervenidas 1 vez por corrosión.

Project: Edificio Manglaro Laguna Beach - Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.45				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	1.05E-11 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	35.5 yrs	6 yrs	<b>41.5 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 1.05E-11 m*m/sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	100.8 yrs	-> 30 yrs	<b>130.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

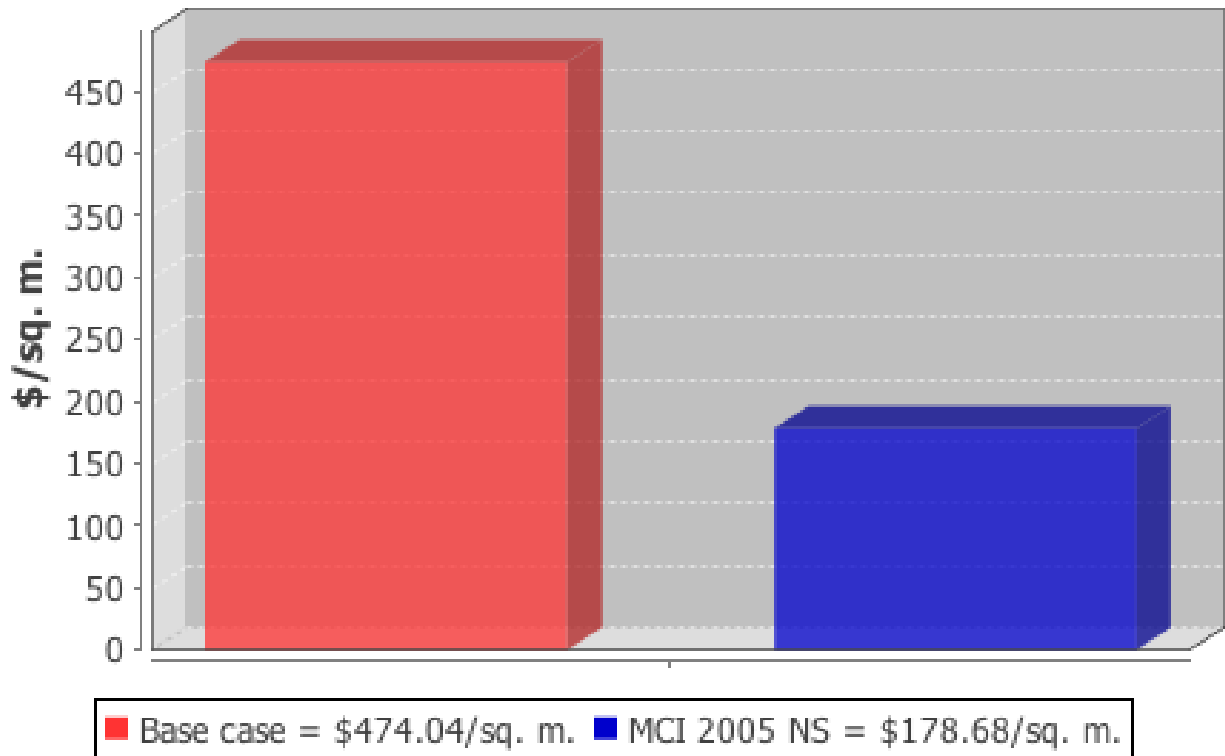
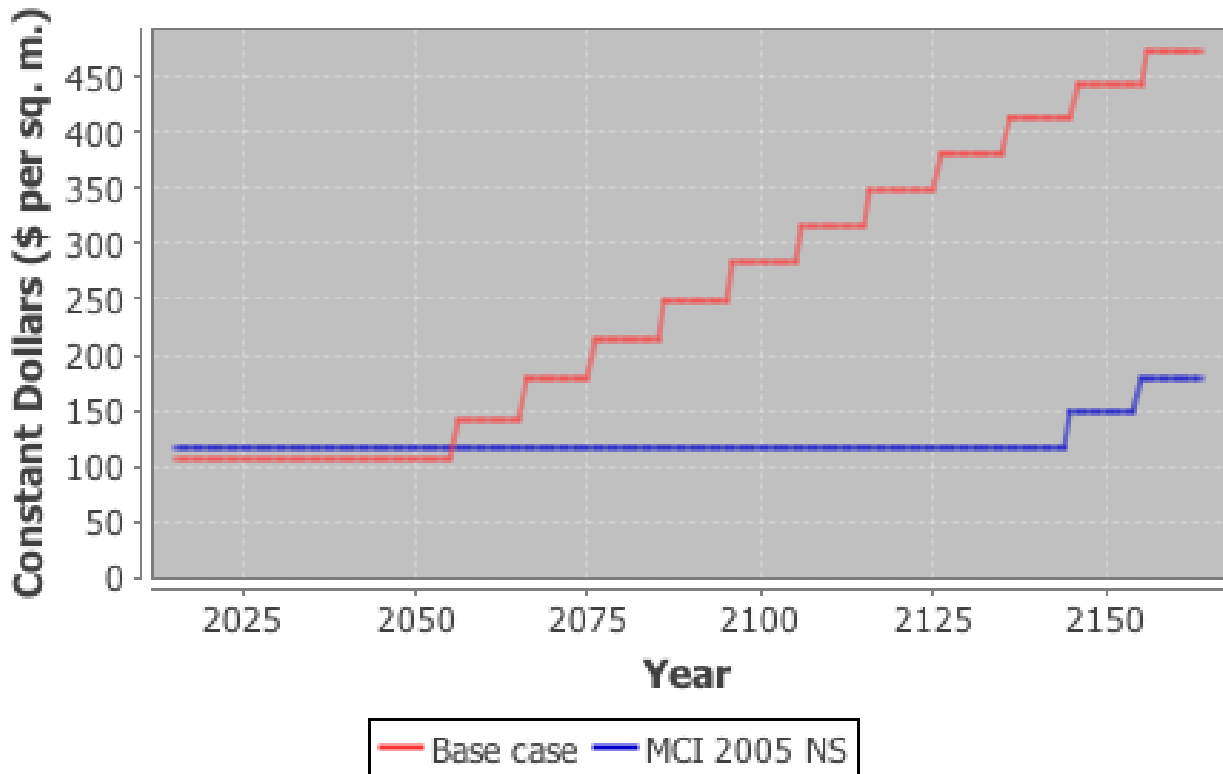


Tabla #16 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

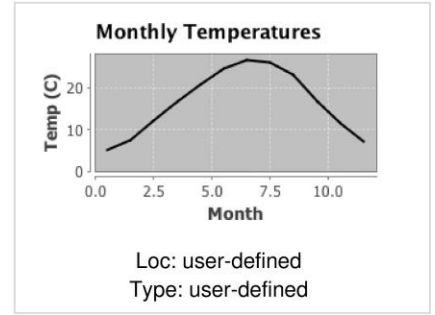
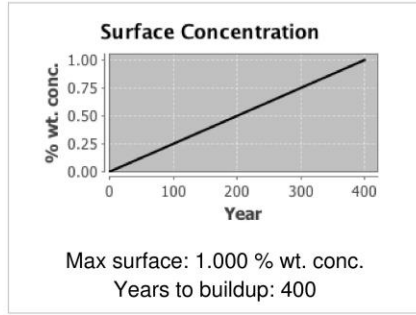
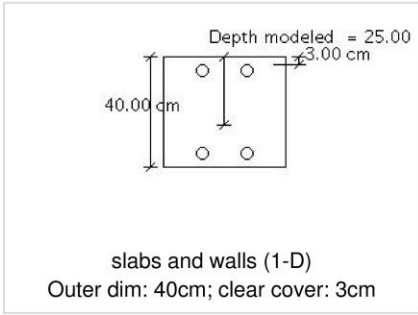


Project: Edificio Manglaro Laguna Beach - Columnas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.45				Black Steel
Nitrito de Calcio		0.45		Ca Nitrite - 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
Base case	1.05E-11 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	35.5 yrs	6 yrs	<b>41.5 yrs</b>
Nitrito de Calcio	1.05E-11 m*m/sec	0.2	0.07 % wt. conc.	48.8 yrs	6 yrs	<b>54.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

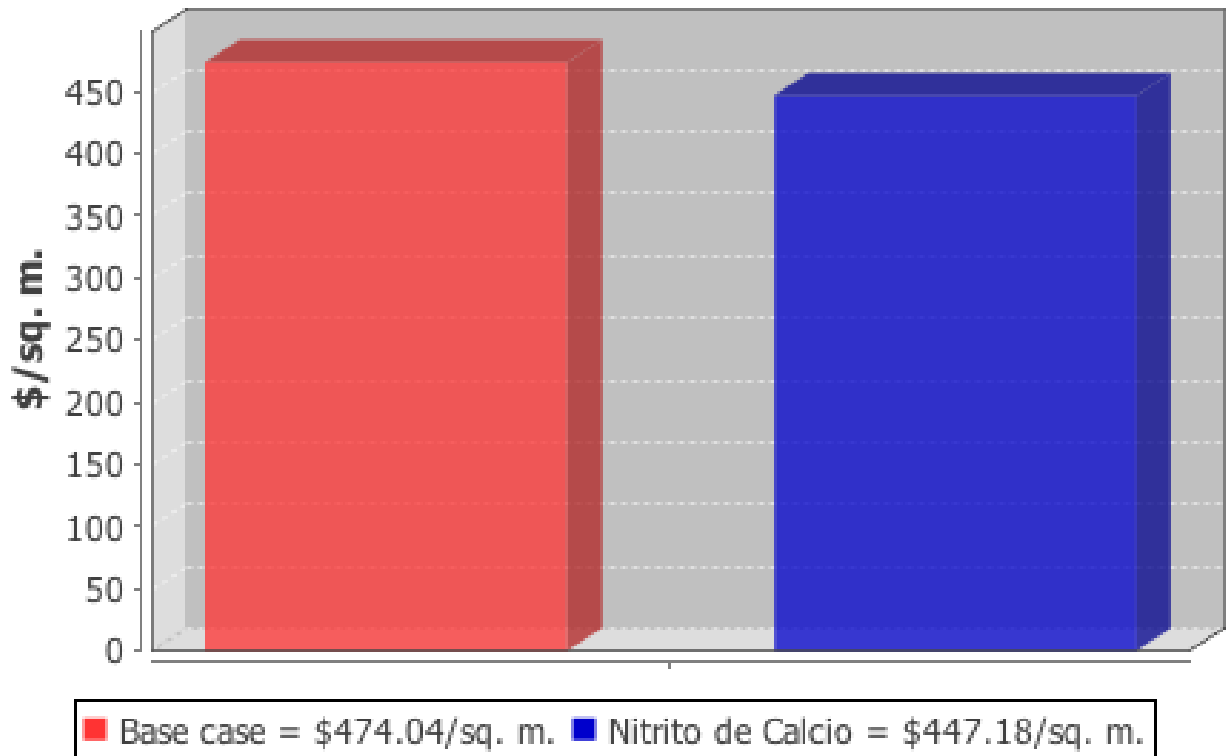
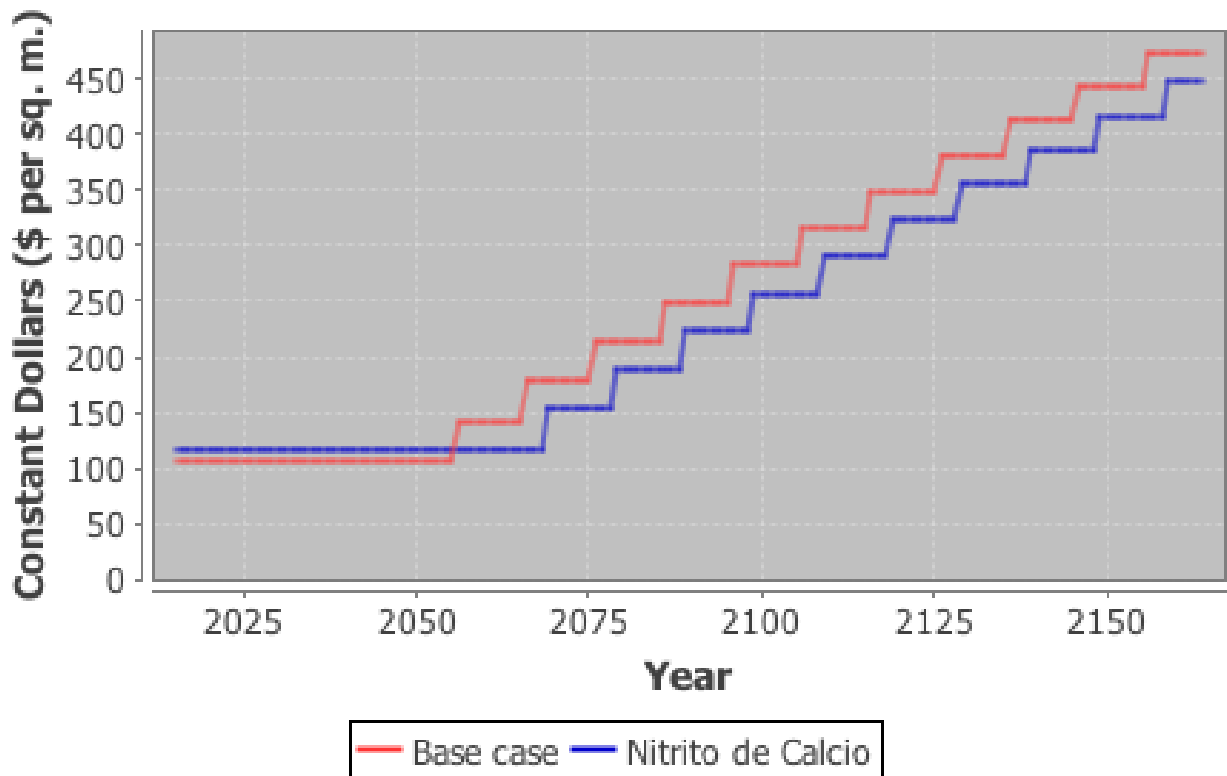


Tabla #17 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Manglaro”**

### **Columna sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 35 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 41 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser intervenidas 9 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 48 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 54 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las columnas deberían de ser que ser intervenidas 8 veces por corrosión.

### **Columna con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 100 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 130 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

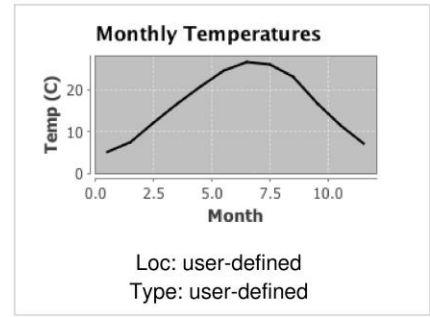
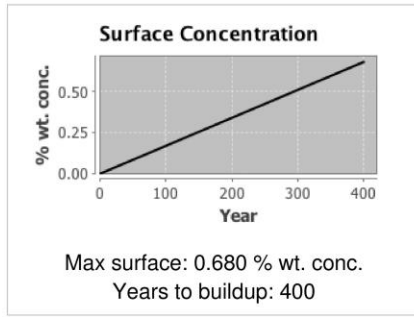
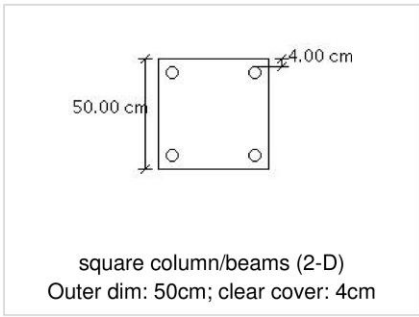
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las columnas deberán ser intervenidas 1 vez por corrosión.

Project: Edificio Manglaro Laguna Beach - Pilotes

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.36				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	6.37E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	43.6 yrs	6 yrs	<b>49.6 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 6.37E-12 m <sup>2</sup> /sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	126.2 yrs	-> 30 yrs	<b>156.2 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Life-Cycle Cost, by Alternative

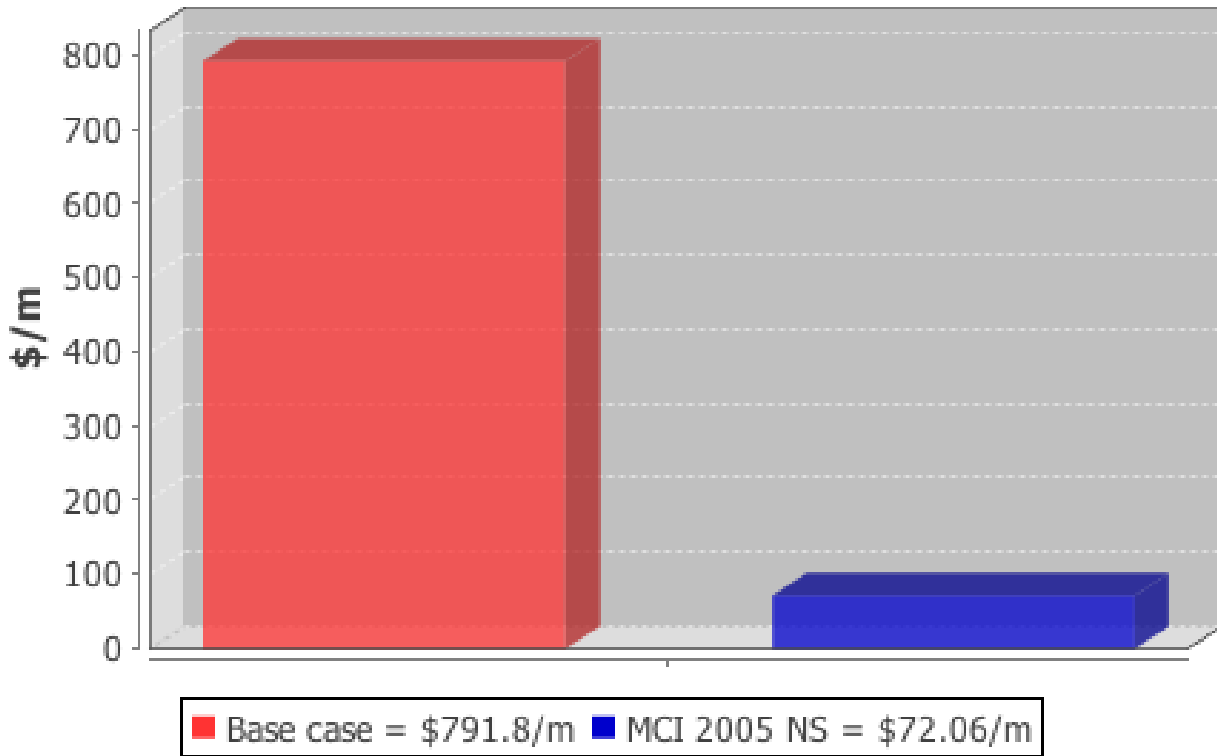
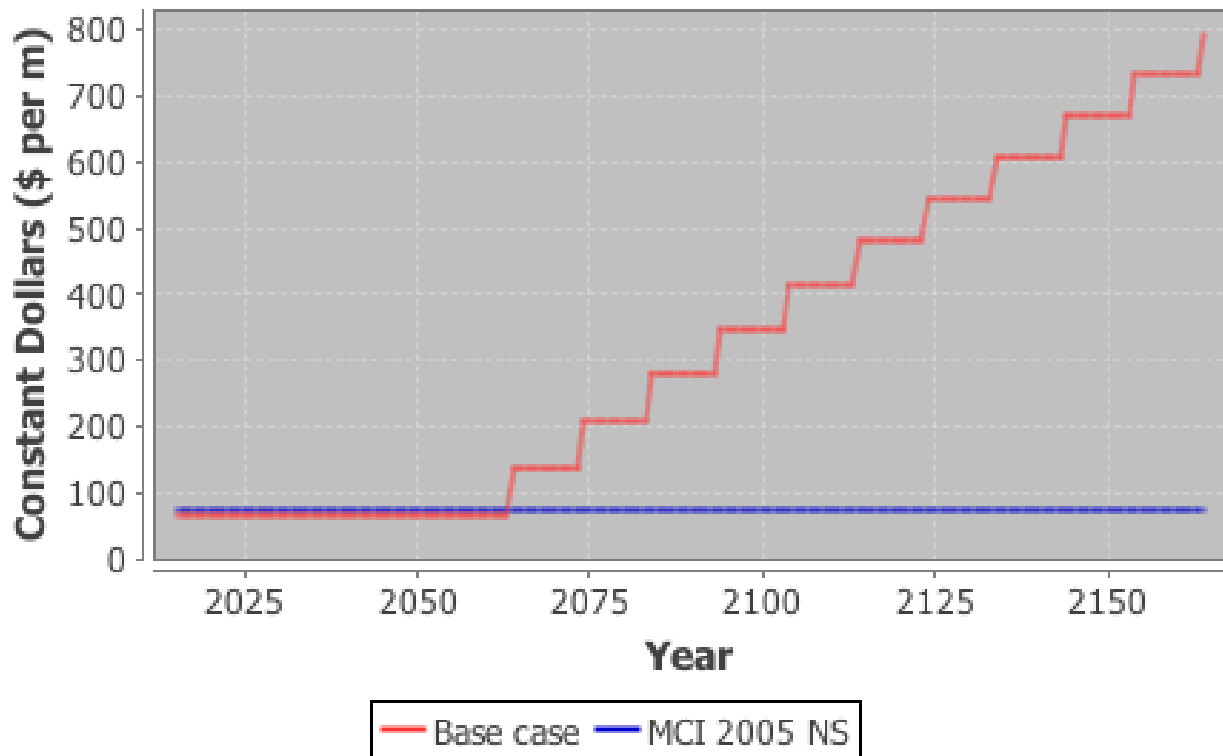


Tabla #18 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

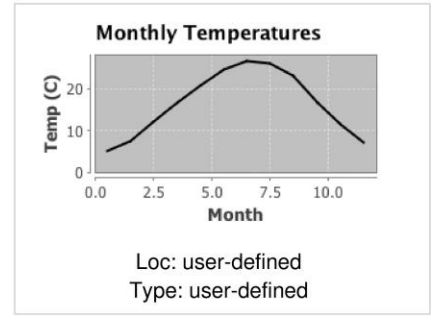
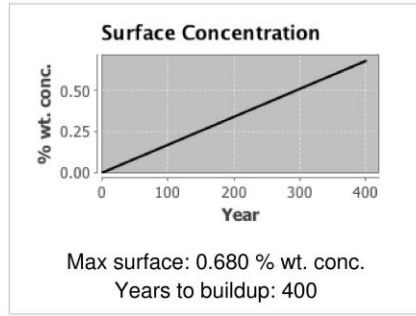
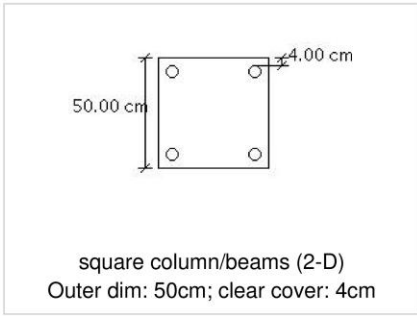


Project: Edificio Manglaro Laguna Beach - Pilotes

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.36				Black Steel
Nitrito de Calcio		0.42		Ca Nitrite - 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
Base case	6.37E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.05 % wt. conc.	43.6 yrs	6 yrs	<b>49.6 yrs</b>
Nitrito de Calcio	8.87E-12 m <sup>2</sup> /sec	0.2	0.07 % wt. conc.	56.8 yrs	6 yrs	<b>62.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

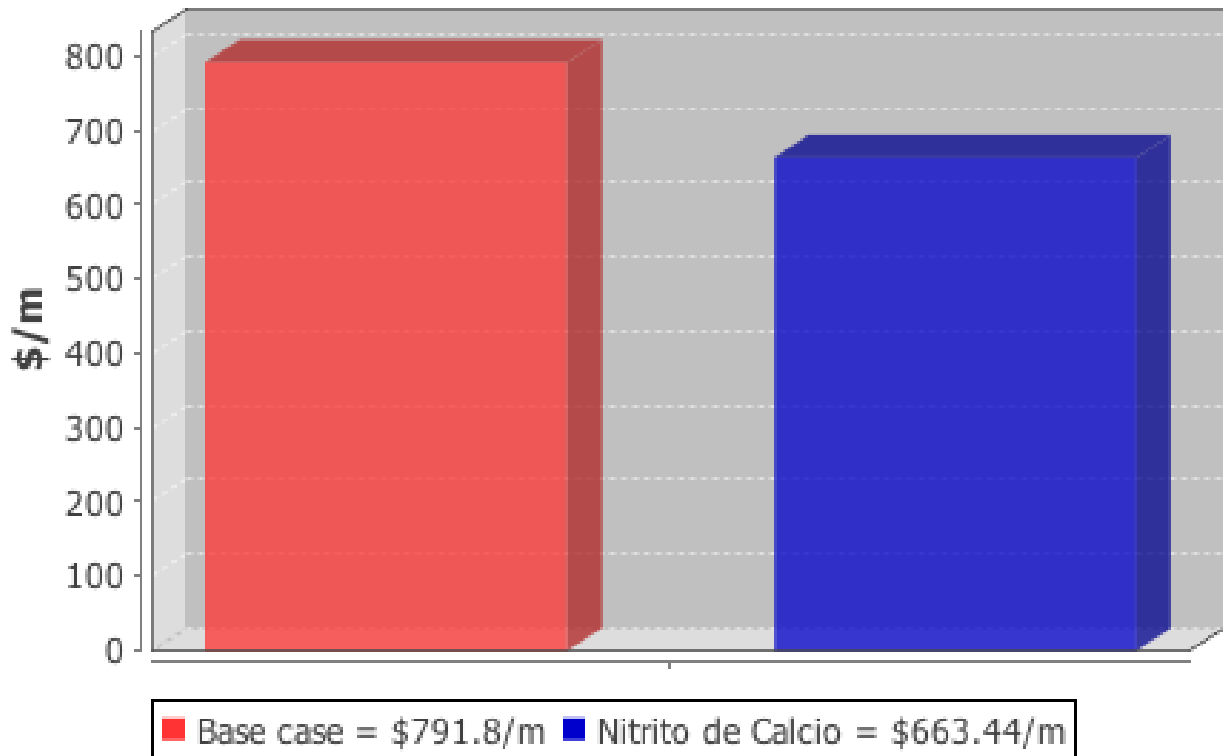
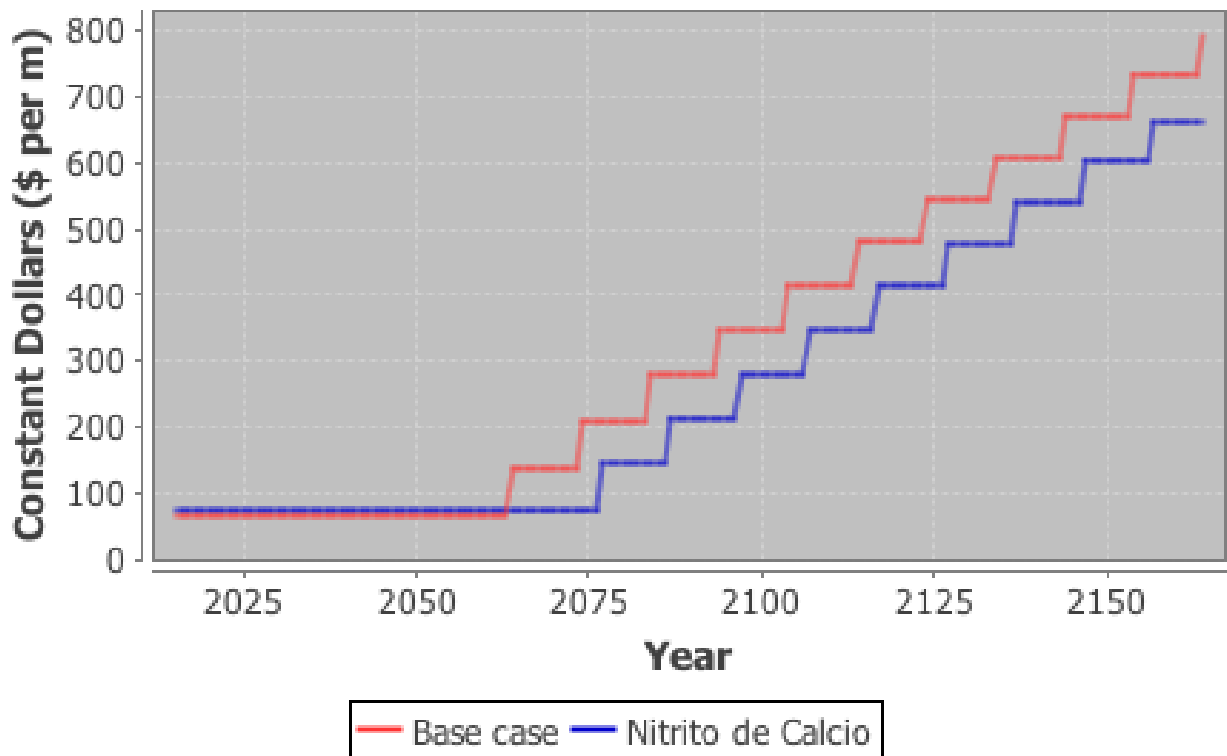


Tabla #19 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Manglaro”**

### **Pilotes sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 43 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 49 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años los pilotes deberían de ser intervenidas 9 veces por corrosión.

### **Pilote con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 56 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 62 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años los pilotes deberían de ser que ser intervenidas 7 veces por corrosión.

### **Pilote con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 126 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 156 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

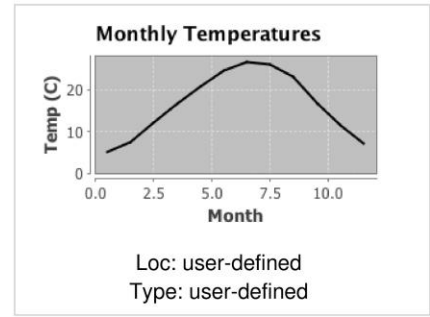
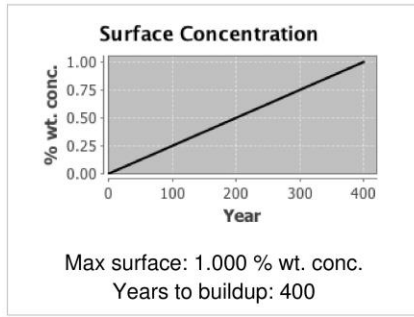
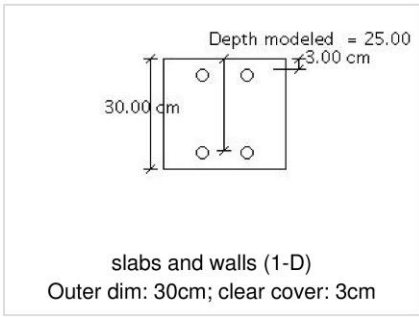
Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años los pilotes no deberán de ser intervenidas por corrosión.

Project: Edificio Manglaro Laguna Beach - Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.45				Black Steel
MCI 2005 NS	yes	n/a	n/a	n/a		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
Base case	1.05E-11 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	35.5 yrs	6 yrs	<b>41.5 yrs</b>
MCI 2005 NS	-> 1.05E-11 m*m/sec	-> 0.2	-> 0.18 % wt. conc.	100.8 yrs	-> 30 yrs	<b>130.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.

## Life-Cycle Cost, by Alternative

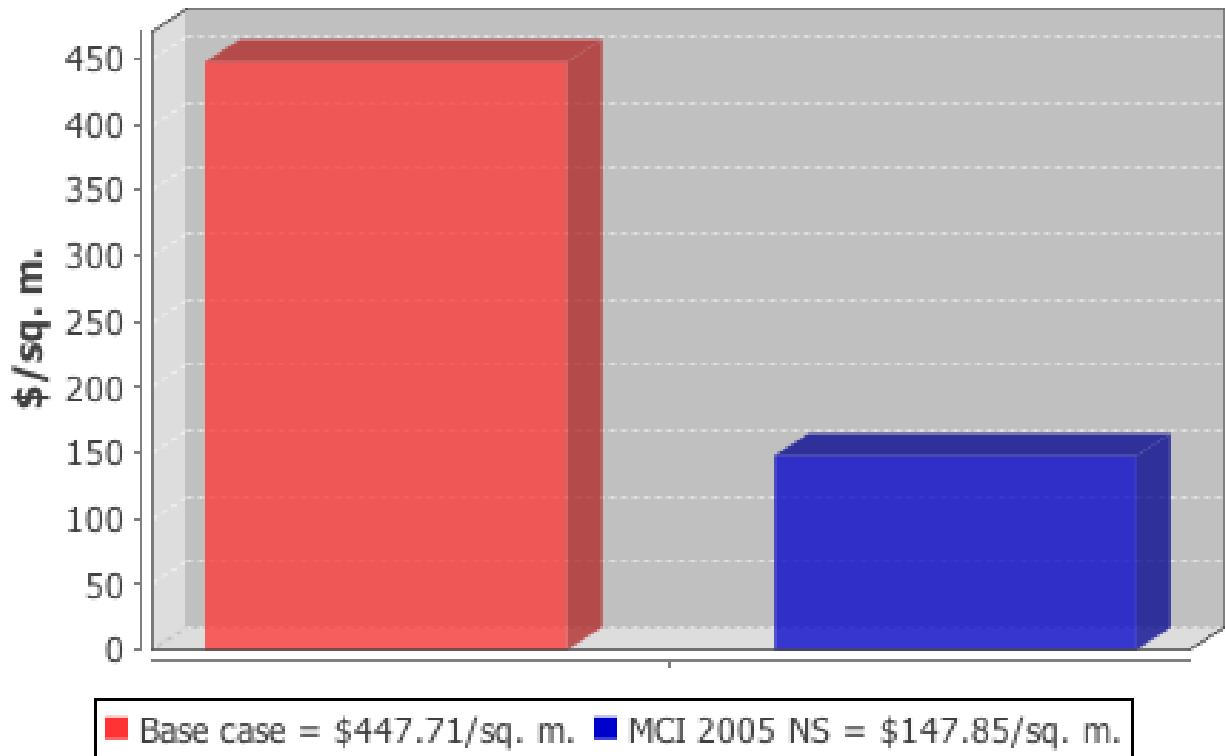
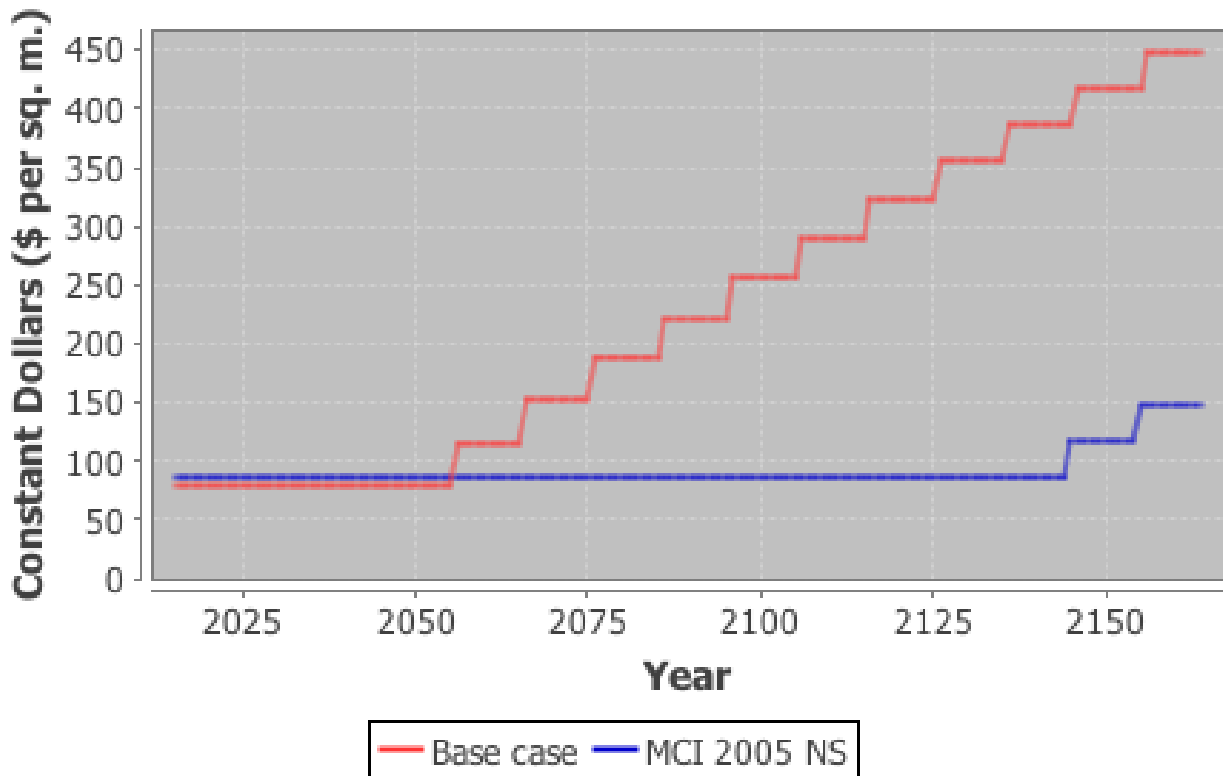


Tabla #20 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value

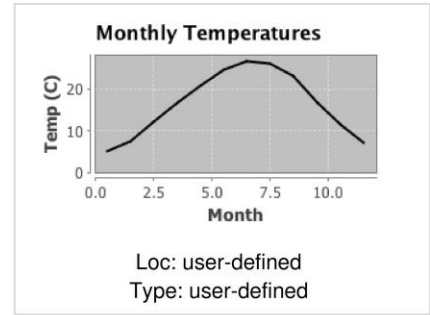
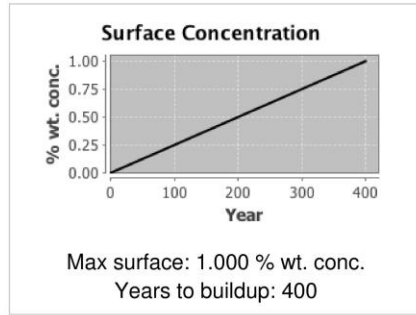
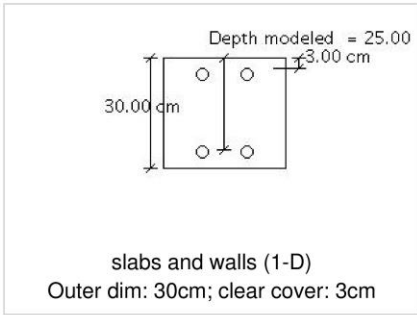


Project: Edificio Manglaro Laguna Beach - Vigas

Description: UEES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Analyst: Francisco Hidalgo

Date: 03/16/2015



### Concrete Mixes

Alt name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.45				Black Steel
Nitrato de Calcio		0.45		Ca Nitrite - 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
Base case	1.05E-11 m*m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	35.5 yrs	6 yrs	<b>41.5 yrs</b>
Nitrato de Calcio	1.05E-11 m*m/sec	0.2	0.07 % wt. conc.	48.8 yrs	6 yrs	<b>54.8 yrs</b>

"->" indicates that the user has directly specified this value; "+" indicates the service life exceeds the study period.



## Life-Cycle Cost, by Alternative

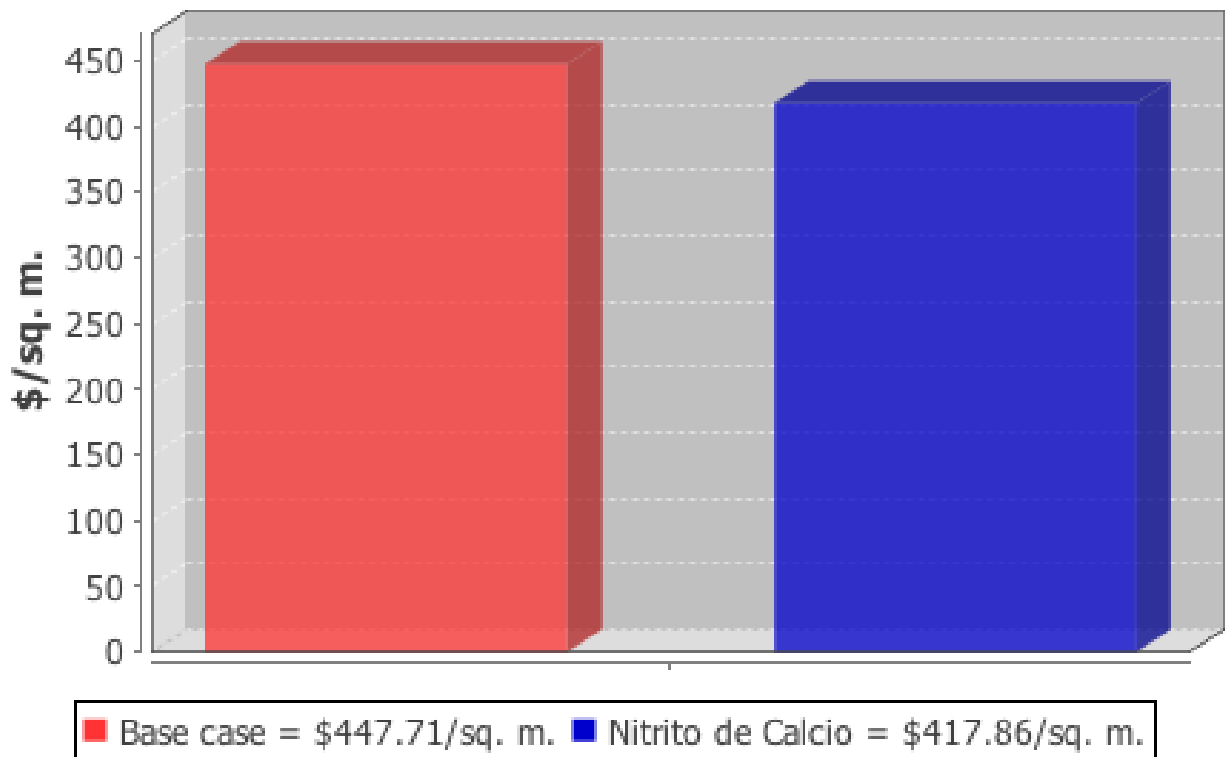
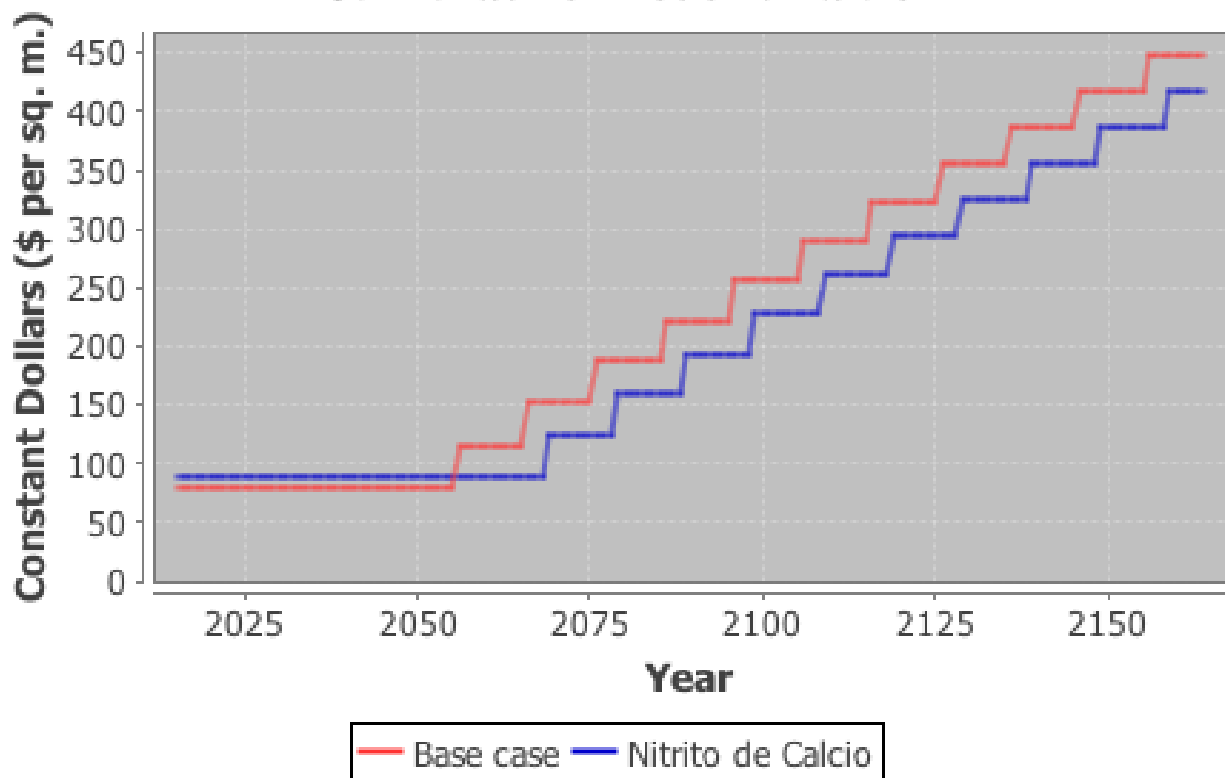


Tabla #21 Reparación/ Metro cuadrado

## Cumulative Present Value



## **Análisis de Resultados del Edificio “Manglaro”**

### **Viga sin Inhibidor de Corrosión**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 35 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 41 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño base sin inhibidor muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser intervenidas 10 veces por corrosión.

### **Viga con Inhibidor de Corrosión Nitrito de Calcio**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión de nitrito de calcio muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 48 años y su tiempo de propagación será de 6 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 54 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de nitrito de calcio muestra que en los próximos 150 años las vigas deberían de ser que ser intervenidas 9 veces por corrosión.

### **Viga con Inhibidor de Corrosión MCI 2005 NS**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos de diseño del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que el proceso de corrosión de las estructura iniciara a los 100 años y su tiempo de propagación será de 30 años. Es decir que la estructura deberá de ser intervenida por primera vez a los 130 años debido a corrosión.

### **Mantenimiento de Estructura**

Una vez corrido el software Life 365 con los datos del edificio Manglaro se puede observar como el diseño con inhibidor de corrosión MCI 2005 NS muestra que en los próximos 150 años las vigas deberán ser intervenidas 1 vez por corrosión.

## **Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Este trabajo deja expuesto probabilísticamente el impacto de la corrosión en las estructuras de hormigón armado con y sin el uso de inhibidores de corrosión. El análisis probabilístico promedio que presenta el software service life 356 sobre los 5 edificios estudiados demuestra que el inicio de la corrosión para una edificación es de 30 años. Conociendo ya que el tiempo de propagación de la corrosión es una constante de 6 años, el estudio indica que una edificación deberá de ser intervenida desde el punto de vista de corrosión a los 36 años aproximadamente.

A su vez podemos recalcar el análisis probabilístico que presenta el software service life 356 sobre las 5 edificaciones que utilizaron un inhibidor a base de nitrito de calcio demuestra que el promedio del inicio de la corrosión comenzará a los 48 años aproximadamente más los 6 años del tiempo constante la propagación el resultado es de 54 años. El estudio indica que una edificación deberá de ser intervenida pro problemas de corrosión a los 54 años aproximadamente

En el caso del inhibidor de MCI 2005 NS el análisis del software service life 365 presenta que promedio de iniciación de la corrosión sobre las 5 edificaciones serán de 104 años. El tiempo de propagación de la corrosión con este inhibidor es una constante de 30 años por lo que el tiempo promedio será de 134 años. Este análisis indica que una edificación que utilice este inhibidor de corrosión deberá de ser intervenido a los 134 años por problemas de corrosión.

Por lo siguiente, este estudio tiene como conclusión que una estructura de hormigón armado tendrá una mayor vida útil si desde el inicio se toma medidas preventivas como inhibidores de corrosión.

## 5.2 Recomendaciones

Al comparar dos tecnologías similares el software service life 365 indica que el inhibidor de corrosión MCI 2005 NS es más eficiente que el inhibidor de corrosión de nitrito de calcio ya que este duplica la vida útil y baja la pendiente de iniciación ocasionando menores reparaciones en función del tiempo. Este trabajo busca generar una nueva cultura de construcción en país, en la que tanto diseñadores como constructores, fiscalizadores como inmobiliarios, piensen en construir para el futuro utilizando tecnología que brinden al hormigón armado décadas de vida útil. A su vez entender que estas tecnologías siempre deben de ir acompañadas de diseños duraderos con bajas dosificaciones de agua/cemento, buenos espesores de recubrimientos, altas resistencias, inclusores de aire, buenas granulometría, flash ash, puzolana entre otras. Todo lo que suma durabilidad siempre acompañara al buen desempeño de las estructuras a lo largo del tiempo.