Impacto del cambio climático global en la durabilidad y el desarrollo sustentable de las construcciones de concreto

Dr. Pedro Castro Borges

Cinvestav

52º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

IBRACON 2010
FORTALEZA - CEARÁ

Seminário COPEL de Sustentabilidade
13-17 Outubro, 2010

IBRACON

¿Qué es el Calentamiento Global?

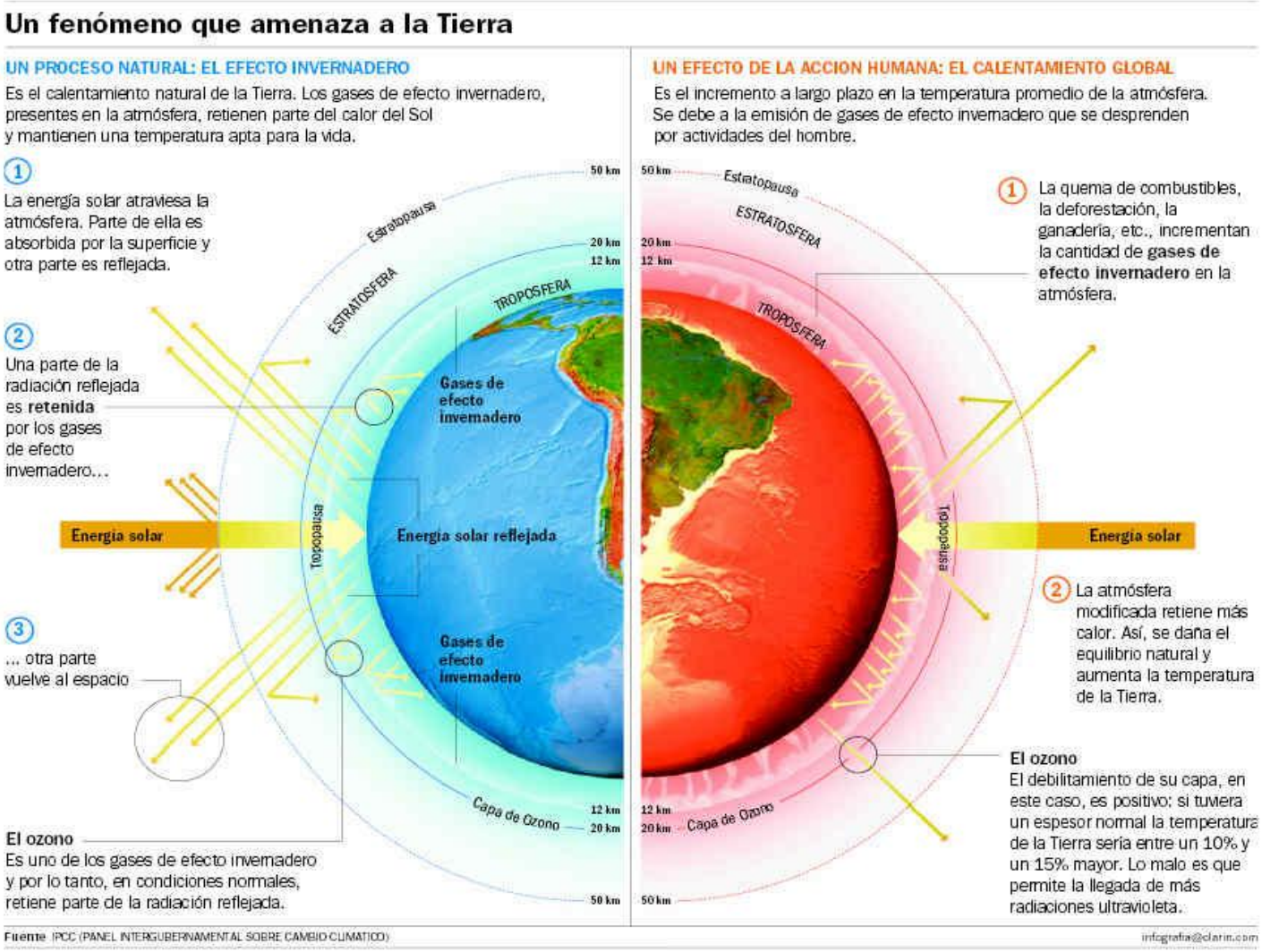
El bióxido de carbono y otros contaminantes del aire se acumulan en la atmósfera formando una capa cada vez más gruesa, atrapando el calor del sol y causando el calentamiento del planeta.

Causantes del Calentamiento Global

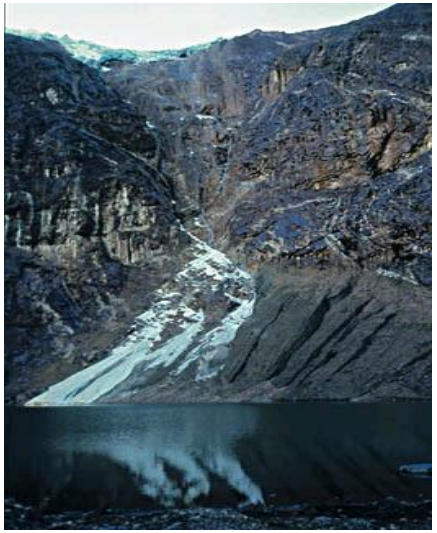
1. Emisión de bióxido de carbono: lo producen las plantas de generación de energía a base de carbón, pues emiten 2,500 millones de toneladas al año.

2. Los automóviles, emiten casi 1,500 millones de toneladas de CO_2 al año.

FUENTE: http://www.nrdc.org/globalWarming



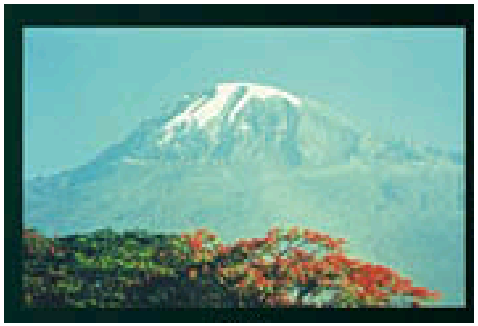
FUENTE: Vicente Barros,Doctor en Meteorología, EX-Director del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Profesor de Climatología en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, actualmente dirige el Proyecto" Inventario de gases de efecto invernadero y estudios de vulnerabilidad y mitigación frente al cambio climático en la Argentina".



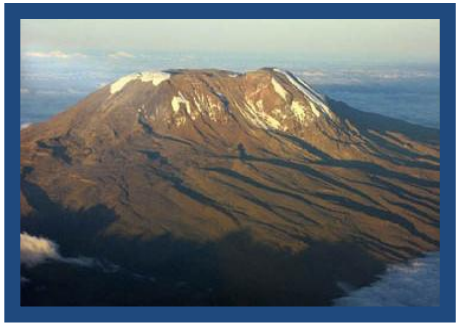
1980 **2002**

Glaciar Rhone en Valais, Suiza

1970



2000

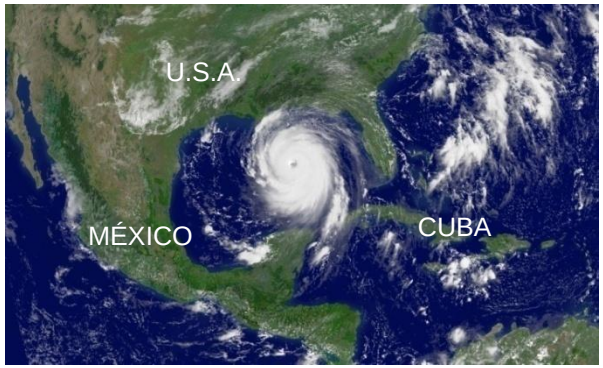


2005
Mt. Kilimanjaro, África

1981 **1998** **2005**

Glaciar Grinnell, U.S.A.
¡Desaparecerá en 2030!

FUENTE:
http://Images.google.com.mx



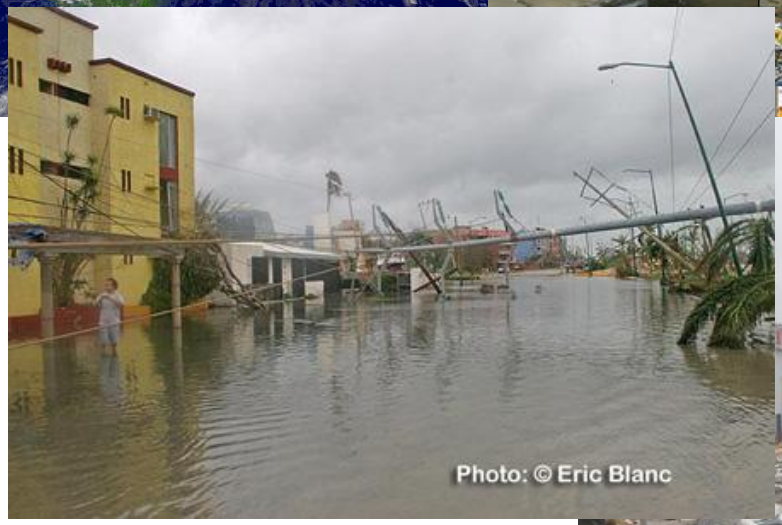
28/08/2005 Huracán,

Katrina Categoría 5,

New Orleans, U.S.A.

FUENTE:http://www.noaa.gov/wx.html

http://Images.google.com.mx



19/10/2005

Huracán, Wilma Categoría 5

Península de Yucatán, México.

FUENTE:http://www.noaa.gov/wx.html

Consecuencias del Calentamiento Global

- **Efectos a la salud**

Olas de calor mortales y la propagación de enfermedades

- **Trastorno del Ecosistema**

Cambia el ecosistema y mueren especies

FUENTE: http://www.nrdc.org/globalWarming

Consecuencias del Calentamiento Global

- **Calentamiento del Agua**
  - Derretimiento de glaciares
  - Deshielo temprano
  - Aumenta el nivel del mar
  - Movimiento de las placas tectónicas.

FUENTE: http://www.nrdc.org/globalWarming

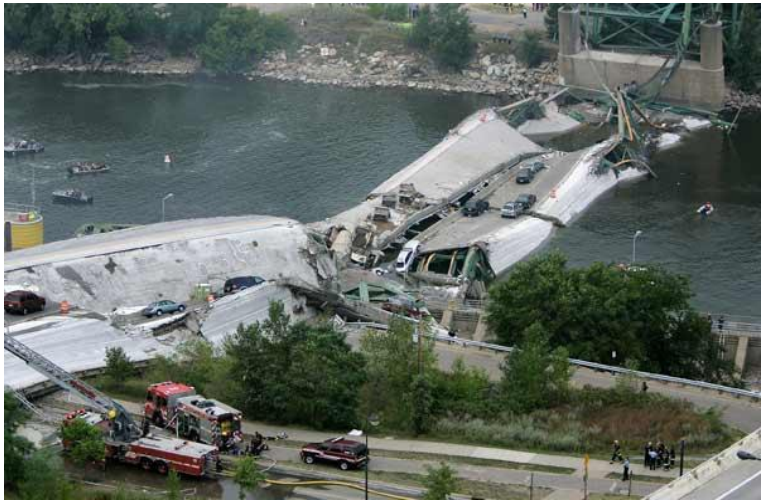
Consecuencias del Calentamiento Global

- ¡Daños a la Infraestructura mundial de acero y concreto!
- ¡Degradación por impacto del medio ambiente!
- ¡Colapsos parciales o totales!

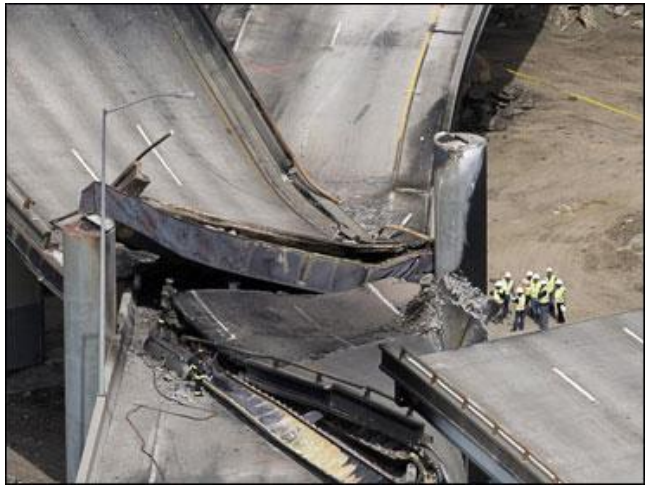
FUENTE: http://www.nrdc.org/globalWarming

Deshielo de Permafrost, Suiza

Permafrost, Fairbanks,Alaska



Puente Minneapolis, E.U.A

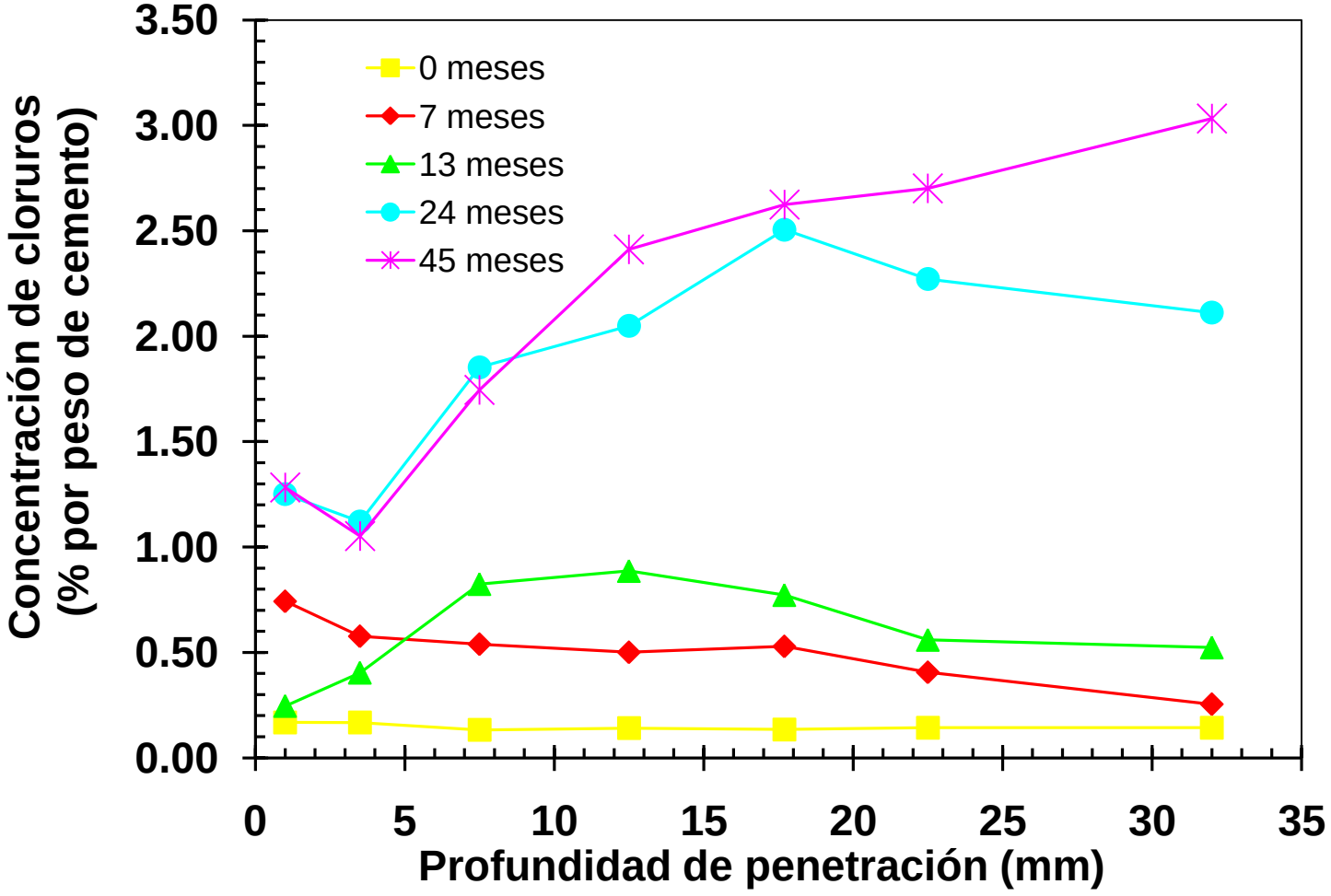


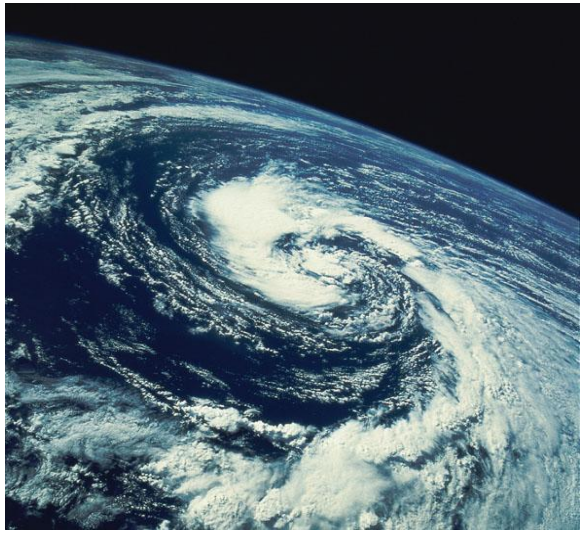
Abril de 2007,Oakland, Bahía de San Francisco

Septiembre de 2006, Quebec, Canadá

¿Cómo se relaciona la vida de servicio de las estructuras con el cambio climático y el desarrollo sustentable?

Un aspecto importante es el efecto que el Cambio Climático Global (CCG), a través de los cambios en la temperatura, tiene en la infraestructura a nivel químico, como lo es **el transporte de agentes agresivos como los CLORUROS**, que es el **principal causante de corrosión en las armaduras** de las estructuras de concreto.


Concentración de cloruros
(% por peso de cemento)
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
0 meses
7 meses
13 meses
24 meses
45 meses
0
5
10
15
20
25
30
35
Profundidad de penetración (mm)



Un factor importante y un problema reciente a tener en consideración tanto en las **normativas** como en el diseño de las estructuras de concreto, es **la influencia del CCG en la durabilidad, la vida de servicio y el desarrollo sustentable** de éstas.

- Estamos en un momento crítico para la Tierra.
- El cambio climático,
- La pérdida vertiginosa de la biodiversidad,
- El declive de los recursos hídricos, forestales y pesqueros amenazan la estabilidad dela vida tal como la conocemos.[3]

3. **Homero Aridjis,** ¿Cuánto, para quiénes, hasta cuándo?, **Sustentabilidad y desarrollo. Revista de la Universidad Iberoamericana*, No. 5, Diciembre 2009-enero 2010.***

El uso indiscriminado e ineficiente de los recursos que nos provee nuestro ecosistema nos está mostrando, desde hoy, un panorama desolador, el cual acarreará y de hecho está acarreando grandes problemas para la humanidad.[4]

4. Alejandro Guevara Sanginés, Desarrollo económico,pobreza y sustentabilidad, **Sustentabilidad y desarrollo. Revista de la Universidad Iberoamericana*, No. 5, Diciembre 2009-enero 2010.***

Como un ejemplo se proporcionan los datos de la energía utilizada en el Reino Unido en la producción y el reciclaje de materiales. (en giga joules (278 kWh) por tonelada)

MATERIAL	PRODUCCION INICIAL	RECICLAJE
Concreto	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5
Ladrillo	2.5 - 6.1	------
Madera	4 - 5	------
Vidrio	13 - 25	10 - 20
Plásticos	80 - 220	50 - 160
Acero	25 - 45	9 - 15
Cobre	70 - 170	10 - 80
Aluminio	150 - 220	10 – 15

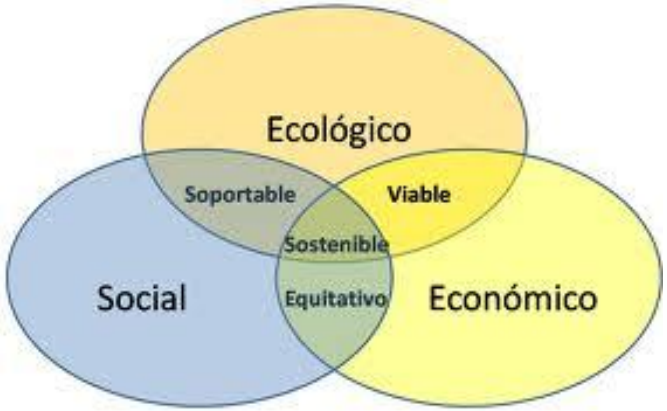
http://www.ur.mx (Universidad regiomontana)

La **construcción** y por lo tanto **el diseño apropiado** de los edificios son actividades que **pueden tener un gran peso en la preservación del medio ambiente y la conservación del agua y la energía**. Debemos administrar de manera eficaz y eficiente los recursos de que disponemos los cuales cada día son más caros y más escasos.

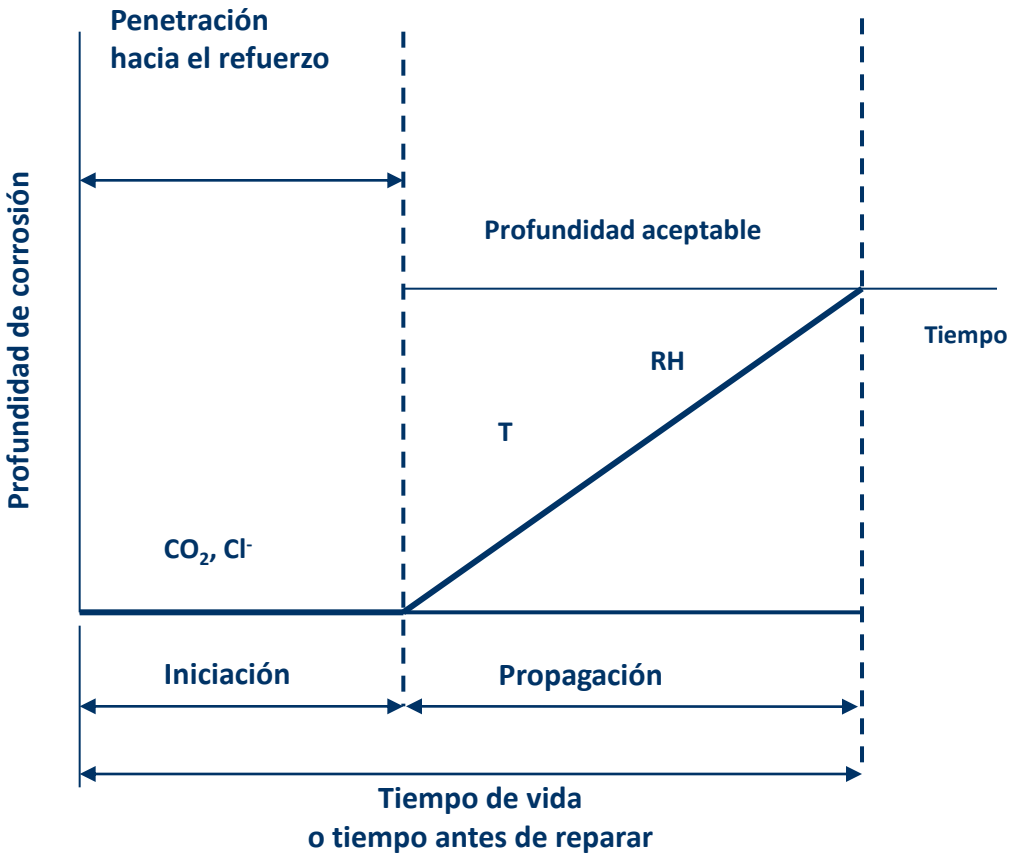
http://www.ur.mx (Universidad regiomontana)

La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecida por las Naciones Unidas en 1983, definió el desarrollo sustentable como:

"Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades".

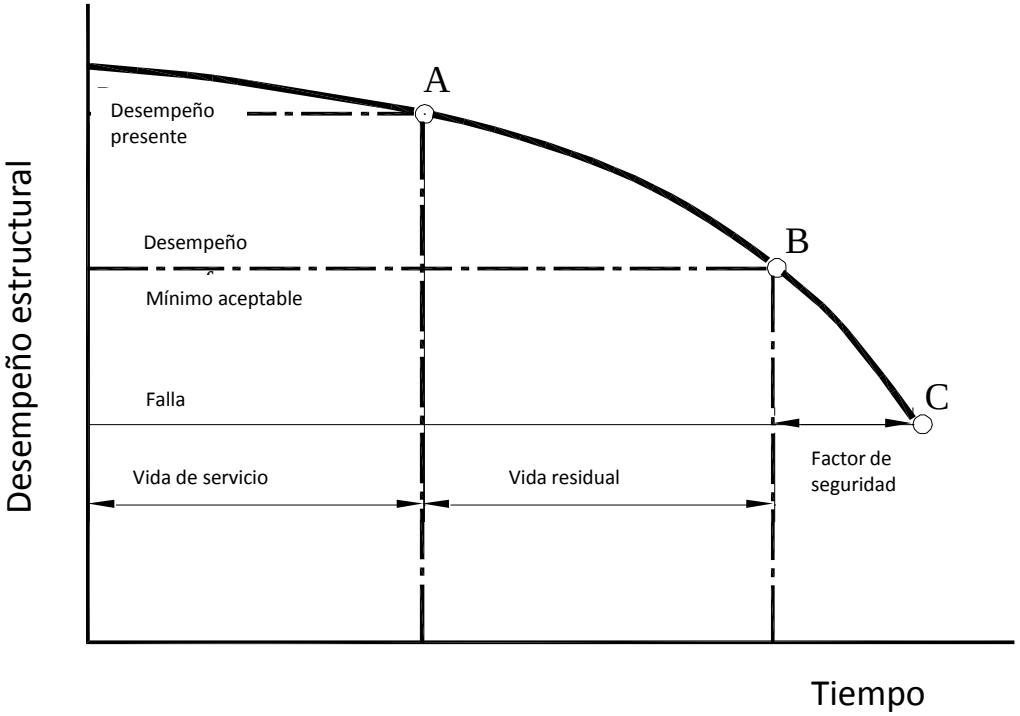


Desde 1981 la vida de servicio del concreto reforzado se ha clasificado en dos etapas: Iniciación y Propagación [2].



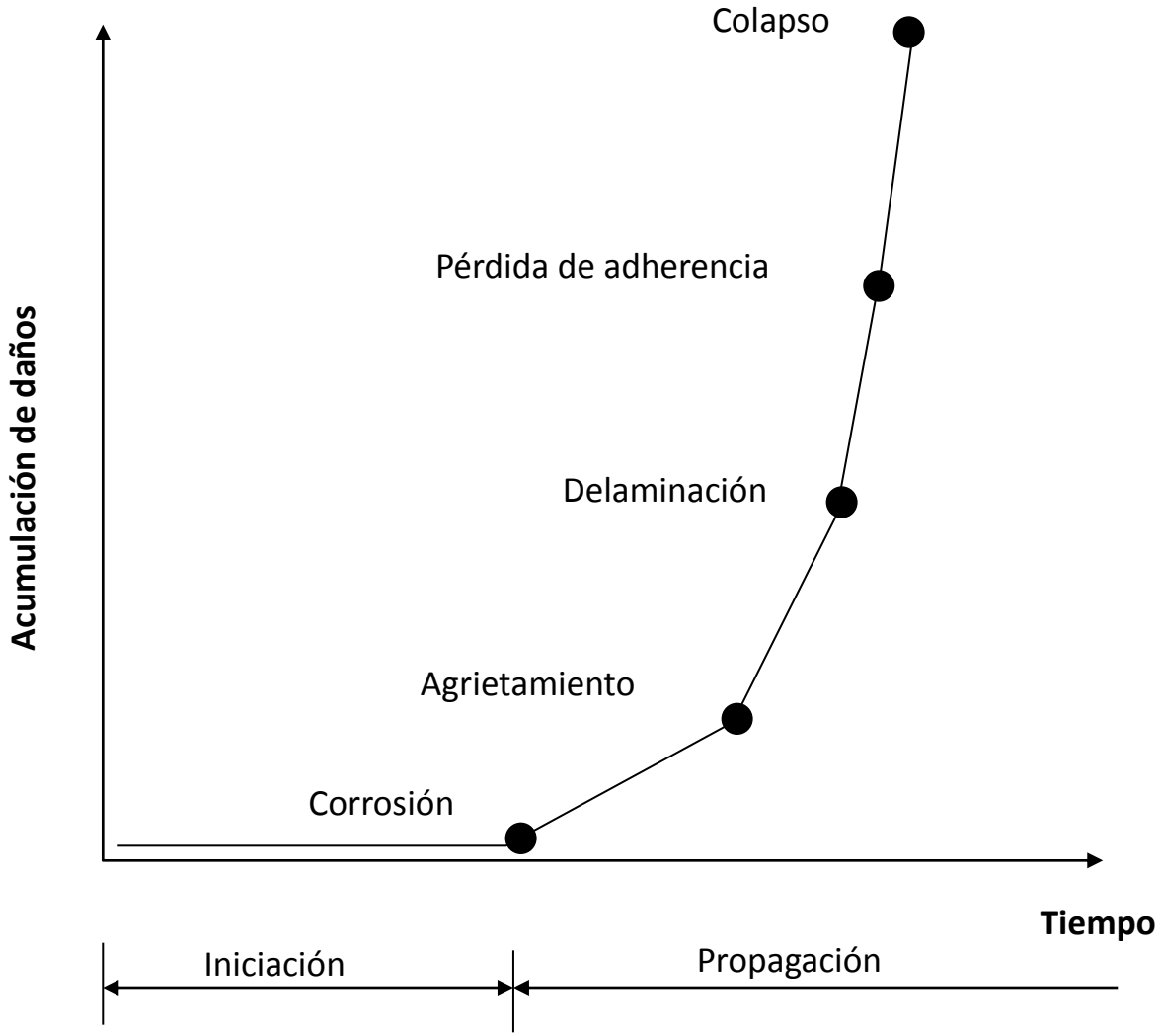
Modelo de vida de servicio de Tuutti [2]

2. K. Tuutti: "Corrosion of steel in concrete", CIB, Research report 4, Stockholm, (1982).



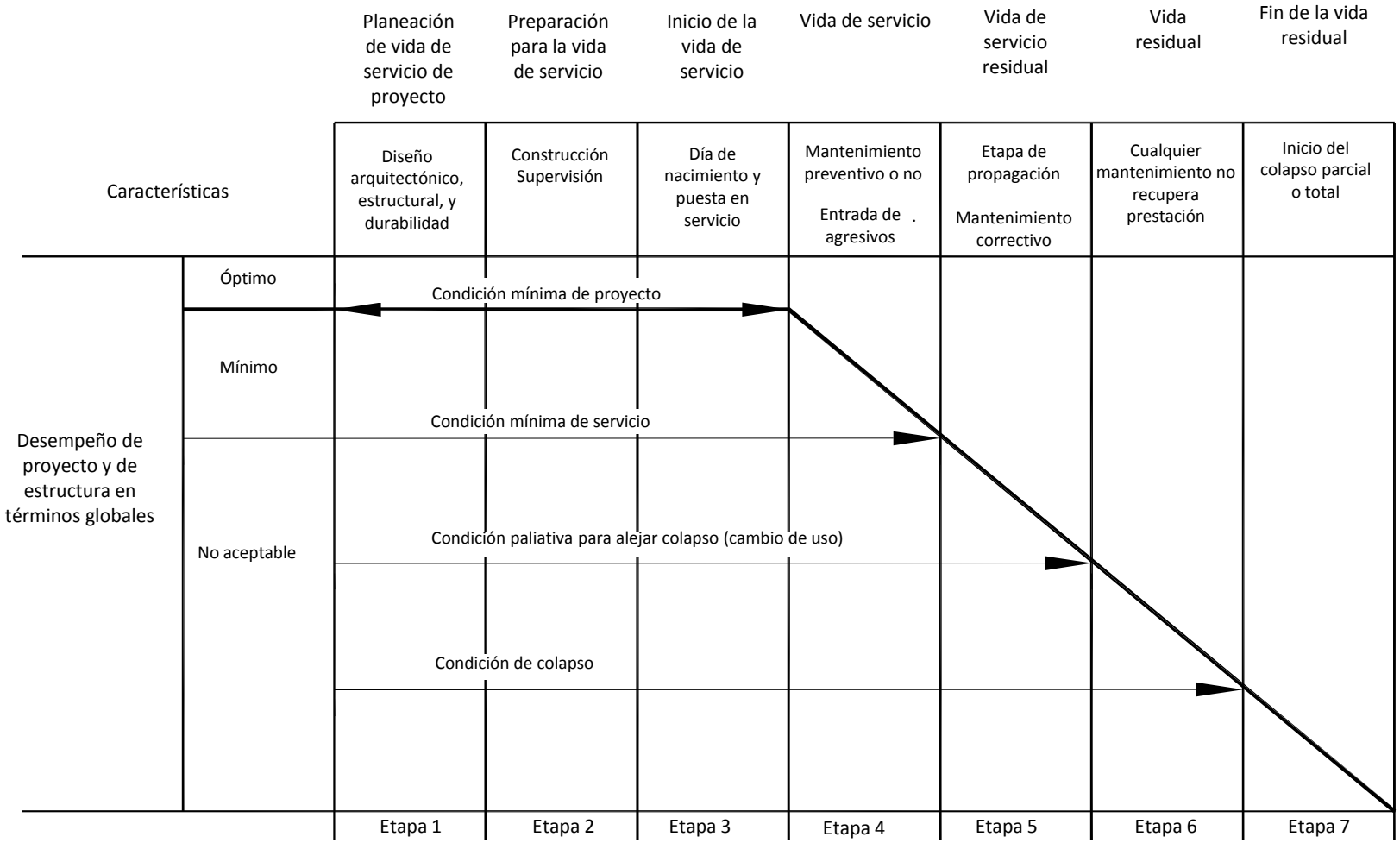
Modelo de vida de servicio de Andrade [6]

6. C. Andrade. Quantification of durability of reinforcing steel, methods and calculation procedures. Of Concrete technology: New Trends, Industrial Applications. Edited by A. Aguado, R. Gettu and S.P. Shah. RILEM. Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK ISBN 0 419 20150 5. pp: 158-175, 1994.



Siemens, 2002, CIB W080/RILEM 175-SML: Service Life Methodologies, Engineer Design Methods: State of the art

Modelo esquemático de siete etapas de vida de servicio de estructuras de concreto reforzado [7]



Sin embargo debido a la complejidad de los nuevos materiales, a los cambios climáticos y ambientales, entre otros factores, es que se han desarrollado nuevos enfoques que dividen a la vida de servicio en varias etapas [7].

7. Castro-Borges, P. and P. Helene. *Service Life of Reinforced Concrete Structures. New Approach*. in *Corrosion of Infrastructure*. 2007. ECS Transactions.

Caso de estudio experimental

Influence of climate change on concrete durability in Yucatan peninsula

P. Castro-Borges* and J. M. Mendoza-Rangel

The environmental effects of global climate change (GCC) are becoming more evident. Nonetheless, efforts to document its effects on the durability of infrastructure are still limited. The present study used long term data (1961–2008) on temperature, relative humidity, precipitation and evaporation recorded in a tropical microclimate of the port of Progreso (Yucatan, Mexico) in order to detect climatic patterns associated to GCC. In addition, the authors analysed chloride profiles in concretes of different quality but of the same age (15 years) and exposed to the same microclimate. Results suggest the presence of environmental changes associated to GCC during the last 40 years, especially in terms of average and maximum temperature, which showed increases of 1 and 0·22°C per decade respectively. Results also showed that seasonal and multiannual climatic cycles had an influence on the behaviour of the chloride profile of the studied concretes and thus on their durability.

Keywords: Global climatic change, Temperature, Infrastructure, Chlorides, Concrete, Durability

Introduction

Global climate change (GCC) is a reality and has been properly documented during recent years.[1] Carbon dioxide and other contaminants accumulate in the atmosphere and trap the heat, thus causing an overall increase in global temperatures. This gradual increase in temperature has become evident and has caused changes, such as negative effects on human health[2,3] via heat waves and diseases, changes in ecosystem function, which have lead to species loss,[4] increase in ocean temperatures,[5] which have led to glacier melting, changes in the timing of melting and an increase in ocean level,[6–8] and changes in climate patterns characterised by an overall increase in temperature,[9] more frequent and severe droughts, fires and storms. Nonetheless, very little information exists with respect to GCC effects on steel and concrete infrastructure,[10–12] potentially resulting in a decrease in infrastructure durability. For example, more frequent and intense hurricanes carry rains with chlorides from the sea, which impact the infrastructure of sites that were originally not designed or constructed with such greater frequency or intensity of effects in mind. As a result, infrastructure deterioration may occur at an accelerated rate, and infrastructure service life decreases substantially.

Preventing or minimising infrastructure effects due to hurricanes may be feasible and realistic. However, mid- and long term effects of GCC on concrete infrastructure are still unknown, and it is not clear how they can be tested for. One relevant aspect which deserves attention is the infrastructure chemical changes, such as the transportation of aggressive agents (e.g. chlorides) as a result of changes in temperature. Chlorides, for instance, are the main cause of metal corrosion in concrete structures. Nonetheless, previous studies have only focused on the risks of GCC effects on concrete structures at large scales[10] as a result of major climatic events, such as hurricanes, flooding, strong rains, etc., as well as ways to prevent or minimise these climatic effects.

The present study is based on a recompilation of 43 years of microclimatic data from a site located at the port of Progreso (Yucatan, Mexico). These data were used to test for an influence of recent GCC on concrete chloride concentration, which is the main cause of deterioration of concrete structures exposed to coastal environments. The main objective of this work was thus to detect evidence of GCC during the last four decades and relate GCC as well as multiyear and seasonal climatic variation to the behaviour of the chloride profile of concretes of different quality exposed to a coastal environment.

Experimental

Concrete specimens of different quality and curing time *ct* were exposed to a coastal environment since 1993 and were located at different distances from the coastline in Progreso, Yucatan (21°16′33″ N and 89°39′14″ W). For this study, the authors used data recorded from specimens located at a station, which was 100 m inland from the coast and with compression strength $f'c$ of 150, 250 and 350 kg cm^{-2}, water/cement ratios w/c of 0·46, 0·53 and 0·76 and a *ct* of seven days.

Climatic data

The authors obtained climatic data from the 'Centro Meteorológico de la Comisión Nacional del Agua' to

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, A.P. 73 Cordemex, CP 97310, Mérida, Yucatán, Mexico

*Corresponding author, email pcastro@mda.cinvestav.mx

© 2010 Institute of Materials, Minerals and Mining
Published by Maney on behalf of the Institute

Detectar el posible efecto del CCG, los ciclos multianuales y los ciclos estacionales anuales del clima en el comportamiento del perfil de cloruros en concretos de diferentes calidades de probetas expuestas a un microclima específico en el puerto de Progreso, Yucatán.

Ambiente de exposición

Exposición a ambiente marino a 100 m del mar en el Puerto de Progreso, Yucatán, desde el año de 1993.

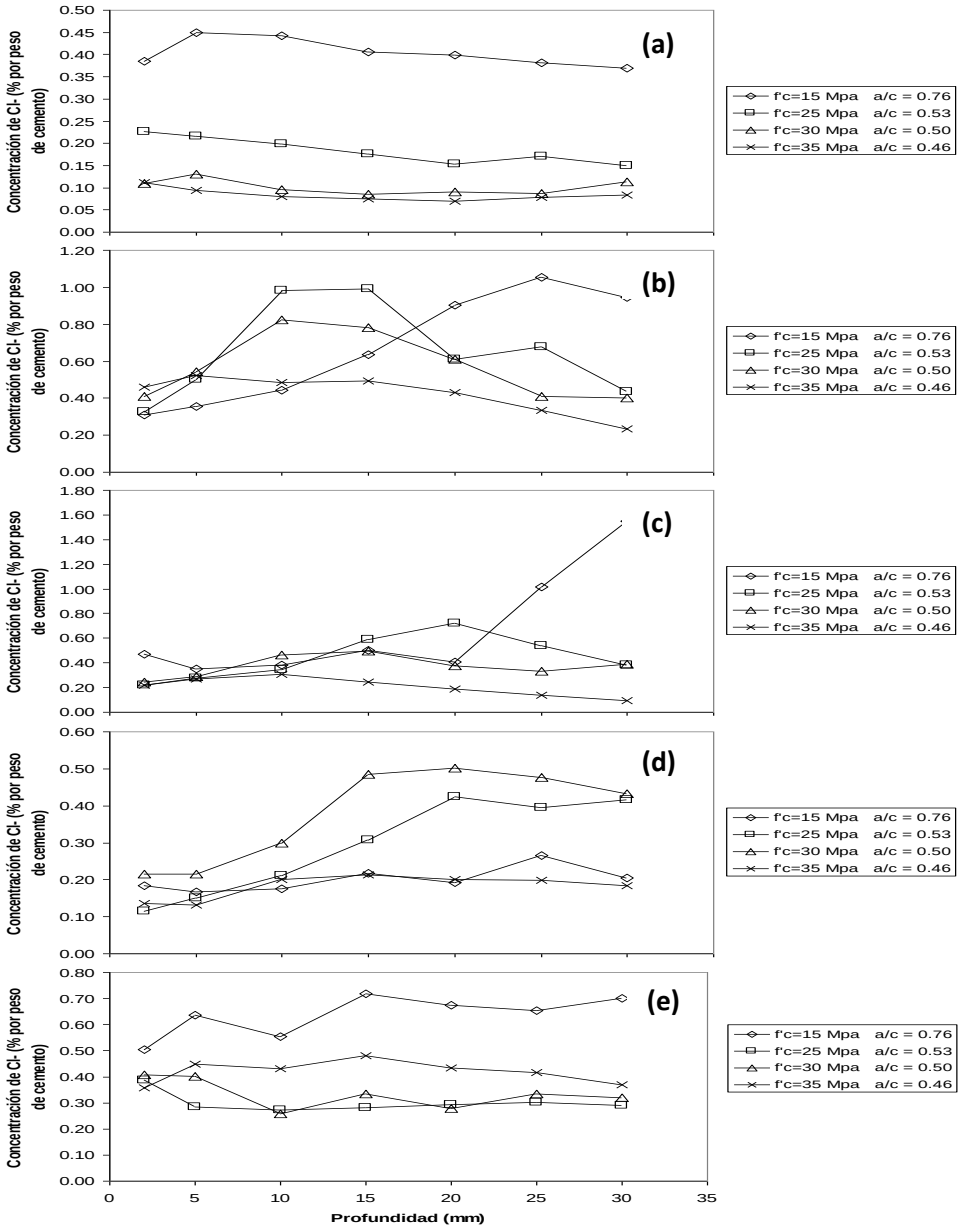
Datos Climatológicos.

Se obtuvieron datos climatológicos proporcionados por el Centro Meteorológico de la Comisión Nacional del Agua (CNA) para el microclima de la estación del Puerto de Progreso, Yucatán ubicada en las coordenadas 21º 16’ 33” N y 89º 39’ 14” W. Los datos consistieron en temperatura máxima, temperatura media, precipitación pluvial, humedad relativa y evaporación, algunos de ellos desde el año 1961 hasta la fecha. En este trabajo, se utilizan para el análisis los promedios anuales de cada variable.

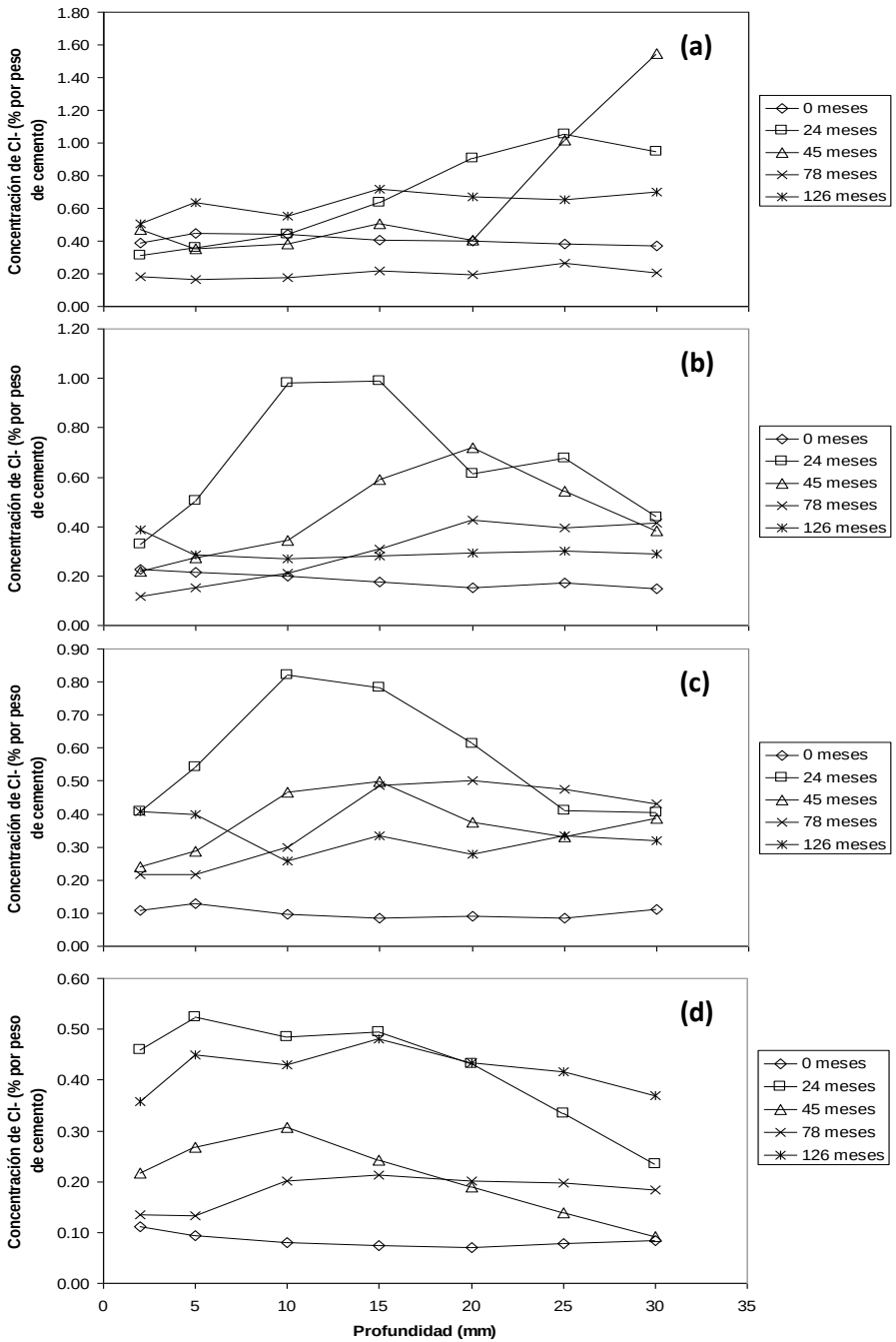
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfiles de cloruros en el concreto.

Perfiles de concentración de cloruros a diferentes tiempos de exposición al ambiente marino: (a) 0 meses, (b) 24 meses, (c) 45 meses, (d) 78 meses y (e) 126 meses.

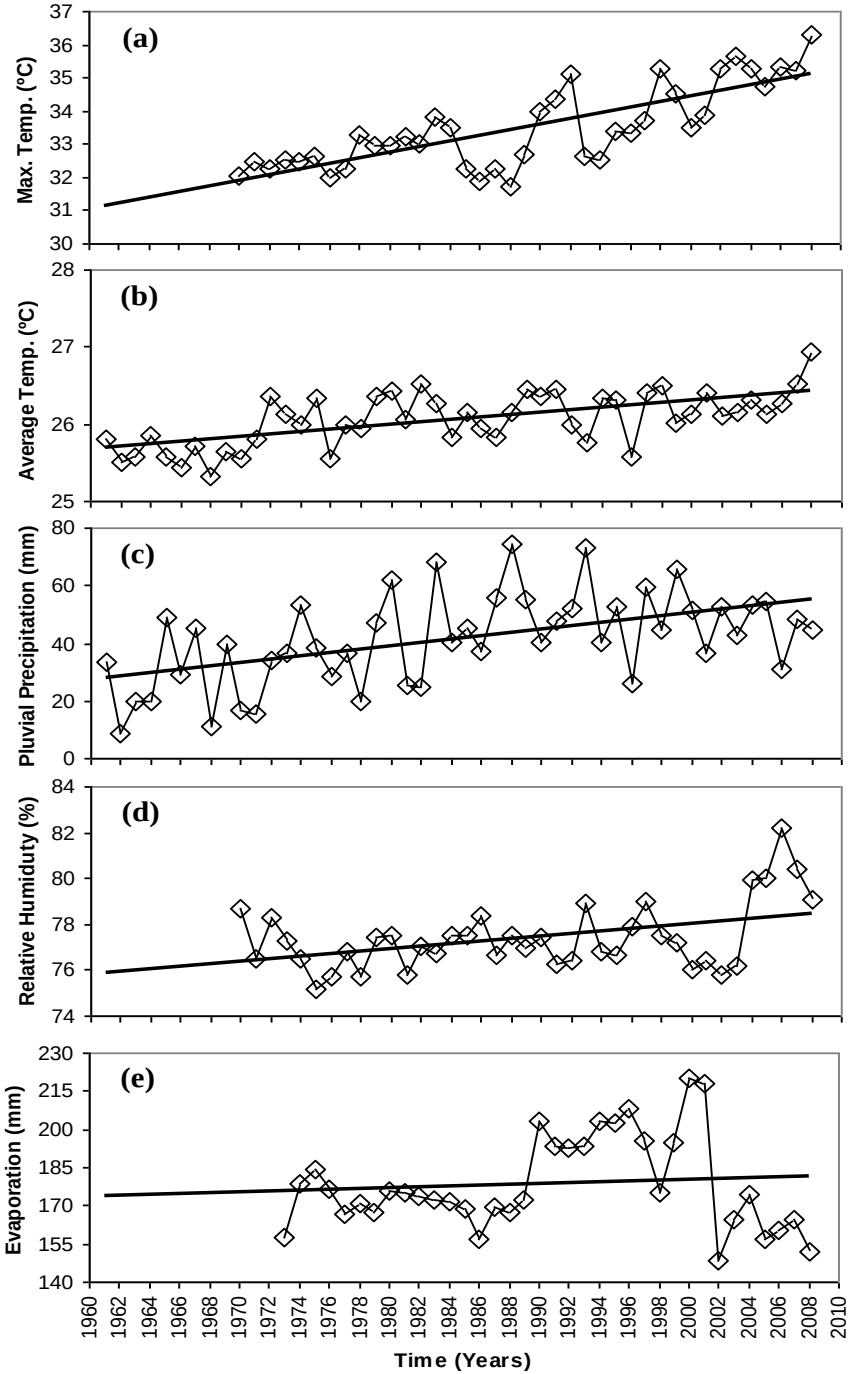


Perfiles de cloruros en el concreto.

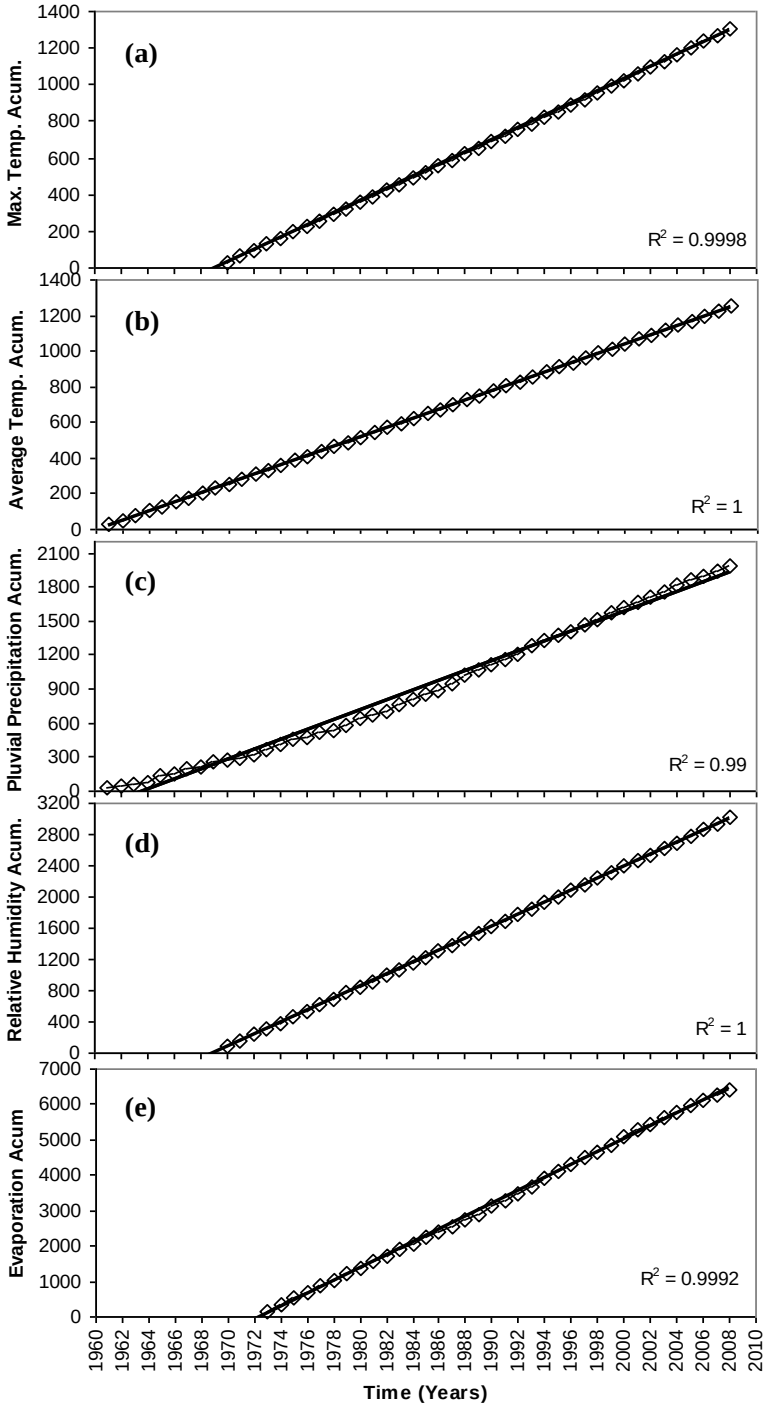


Perfiles de concentración de cloruros de probetas con diferentes relaciones agua/cemento (a/c): (a) a/c=0.76, (b) a/c=0.53, (c) a/c=0.50, y (d) a/c=0.46.

Perfiles de cloruros en el concreto.



Datos climáticos para un microclima en el puerto de Progreso, Yucatán: (a) Temperatura máxima, (b) Temperatura media, (c) Precipitación pluvial, (d) Humedad relativa, y (e) Evaporación [12].

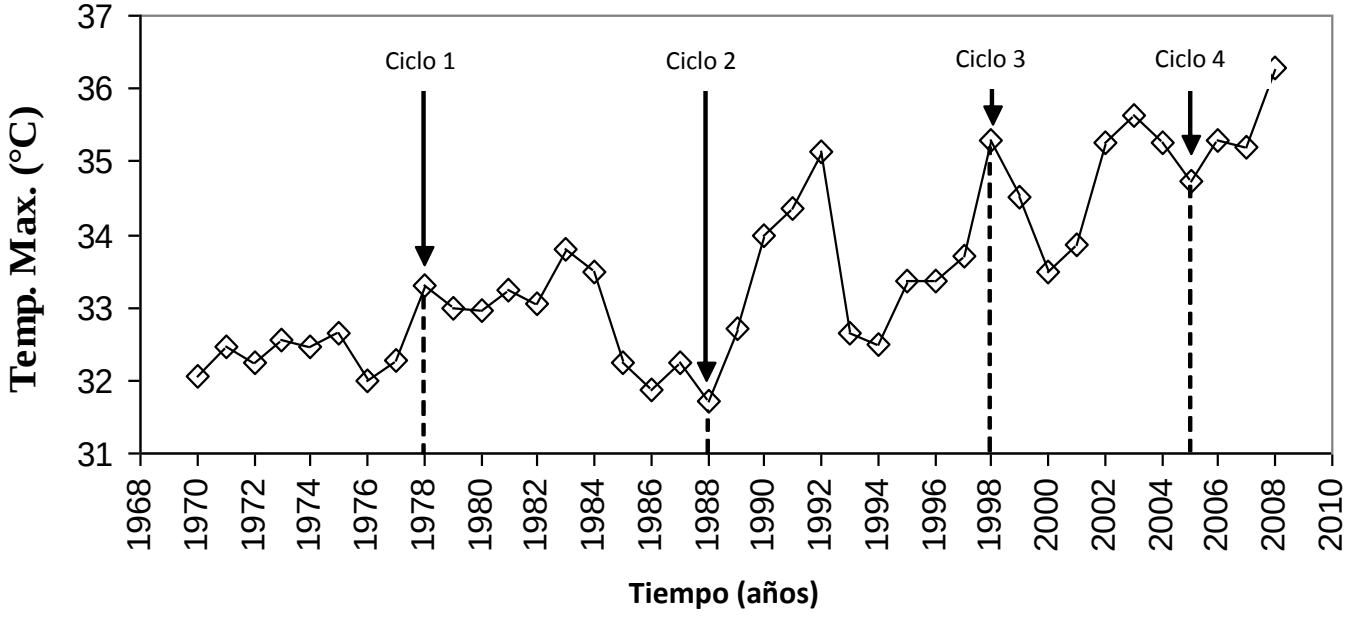


RESULTADOS DE ANÁLISIS CLIMÁTICOS

Datos acumulados de: (a) temperatura máxima, (b) temperatura media, (c) precipitación pluvial, (d) humedad relativa, y (e) evaporación. Muestra una variación constante a través del tiempo [14]

14. Castro-Borges, P. and J.M. Mendoza-Rangel, *The influence of climate change on the durability of concrete in the Yucatan peninsula.* Corrosion Engineering, Science and Technology, VOL 45 NO 1 61, 2010

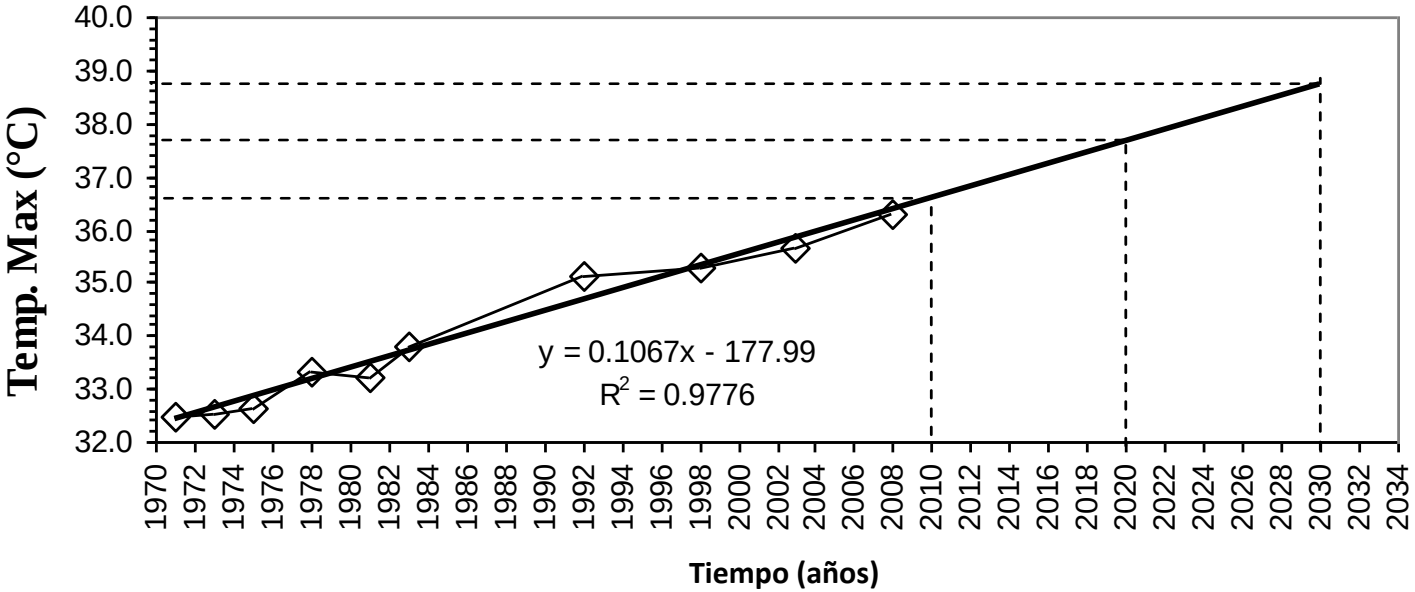
Comportamiento cíclico multianual y estacional del clima



Ciclos multianuales de temperatura máxima [14]

14. Castro-Borges, P. and J.M. Mendoza-Rangel, *The influence of climate change on the durability of concrete in the Yucatan peninsula.* Corrosion Engineering, Science and Technology, VOL 45 NO 1 61, 2010

Aumento gradual de temperatura máxima anual.

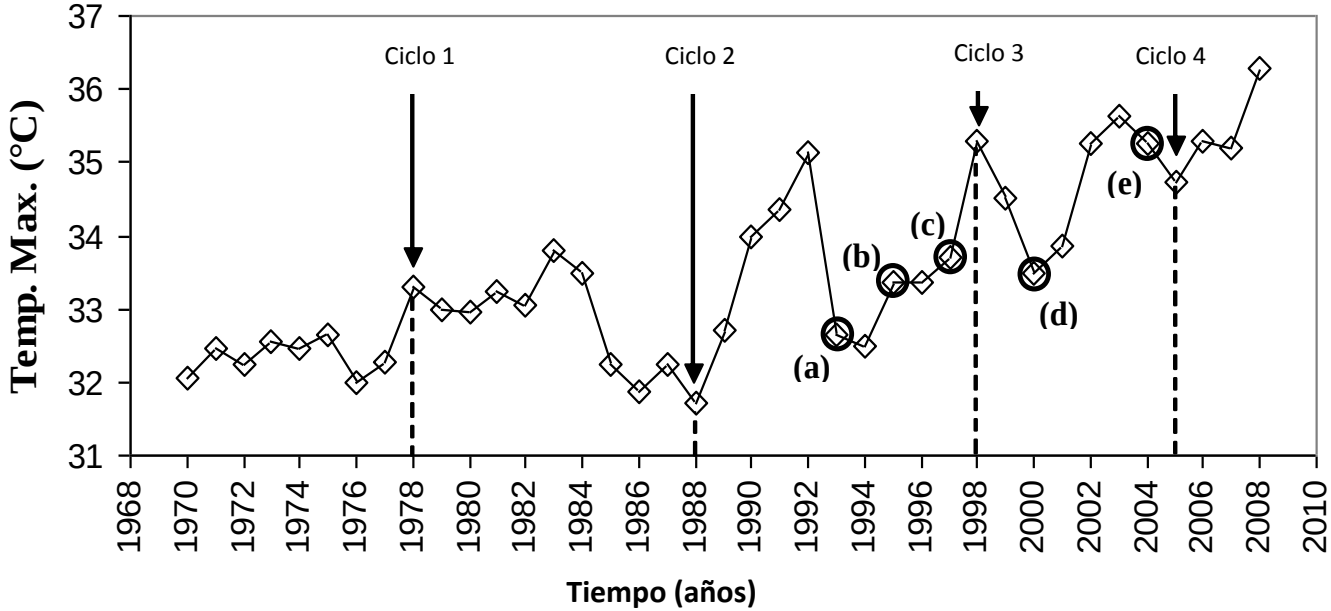


Gráfica que muestra la temperatura máxima de cada ciclo y la predicción de la temperatura en el futuro con una línea de tendencia linear [14].

¡NOTA!: ¡La temperatura no subirá indefinidamente!

14. Castro-Borges, P. and J.M. Mendoza-Rangel, *The influence of climate change on the durability of concrete in the Yucatan peninsula.* Corrosion Engineering, Science and Technology, VOL 45 NO 1 61, 2010

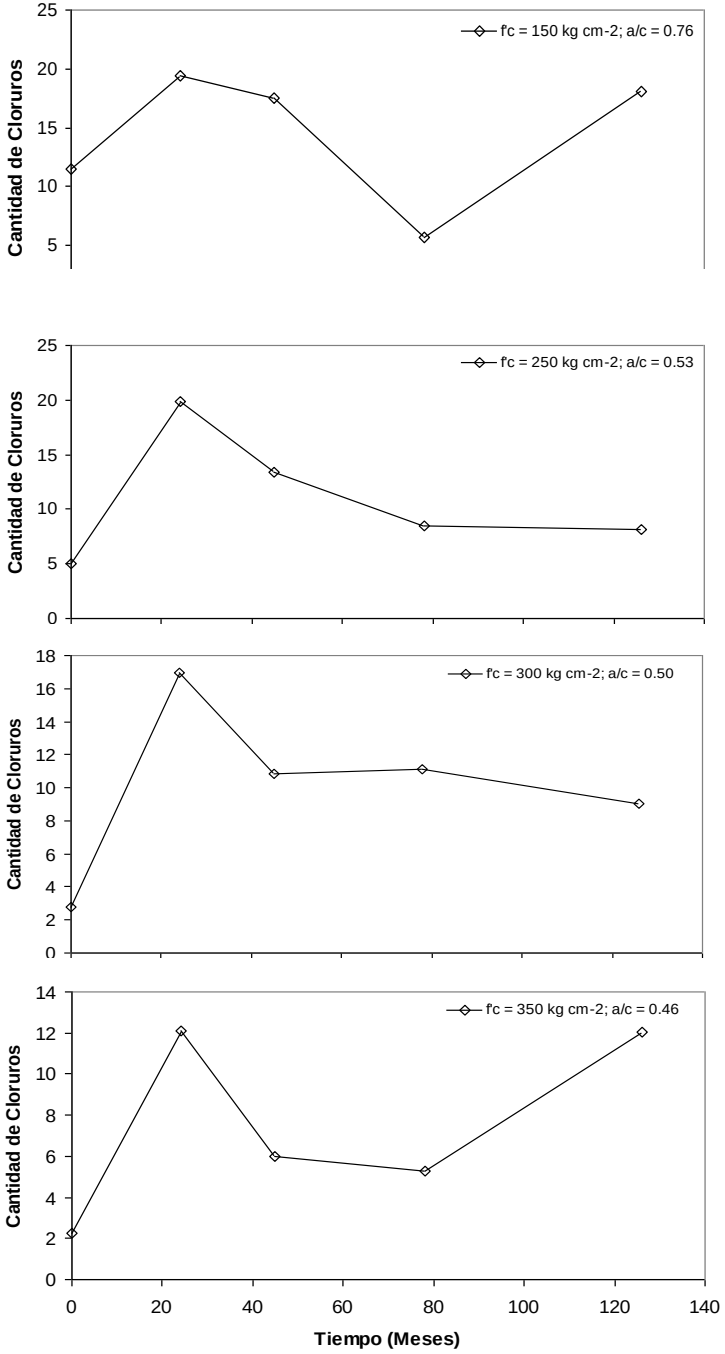
Comportamiento cíclico multianual y los cloruros en el concreto



Ciclos multianuales y tiempo de evaluación de cloruros a: (a) 0 meses, (b) 24 meses, (c) 45 meses, (d) 78 meses y (e) 126 meses [14].

14. Castro-Borges, P. and J.M. Mendoza-Rangel, *The influence of climate change on the durability of concrete in the Yucatan peninsula.* Corrosion Engineering, Science and Technology, VOL 45 NO 1 61, 2010

Efecto del CCG en los cloruros dentro del concreto



Cantidad total de cloruros dentro del concreto [14]

14. Castro-Borges, P. and J.M. Mendoza-Rangel, *The influence of climate change on the durability of concrete in the Yucatan peninsula.* Corrosion Engineering, Science and Technology, VOL 45 NO 1 61, 2010

¿Cómo se relaciona el Cambio Climático Global y el desarrollo sustentable?

- El estudio de los cambios climáticos y su efectos en la infraestructura civil, permitirá realizar acciones tempranas que prolonguen la vida útil de la estructura

- Las acciones de intervención serán de menor impacto para mantener la sustentabilidad del sector constructivo.

- El uso de materiales "preventivos": barnices, pinturas e inhibidores ecológicos traerán como consecuencia un ahorro en el consumo de energía y una máxima durabilidad de las estructuras

- El uso inteligente del concreto (dosificación), permitirá disminuir emisiones de CO_2 al ambiente

CONCLUSIONES

Conclusiones

- la **presencia del CCG** se reflejó en la **temperatura**, precipitación pluvial, humedad relativa y evaporación, del microclima evaluado, ya que presentan **tendencias bien definidas** al transcurrir el tiempo en un periodo de más de 40 años

- La **temperatura máxima y media** en el microclima evaluado muestran una **tendencia** clara a **aumentar** con el transcurrir del tiempo a una tasa de **1° C y 0.22° C por década**, respectivamente, lo cual contrasta con el valor de 0.13° C reportado a nivel global por el IPCC y otros informes internacionales.

Conclusiones

- Existe un **ciclo multianual de temperaturas máximas** que parece estar controlado por **factores externos a la atmósfera local** y cuya duración, al menos en fechas recientes, parece coincidir con las de los ciclos de actividad reportados para las manchas solares.

- Existen **ciclos anuales de temperatura máxima**, y característicos en intensidad para cada una de las **estaciones del año**, los cuales están mayormente **gobernados por la atmósfera local**.

Conclusiones

- El incremento de la **temperatura máxima** en las últimas décadas, y analizada en función de los **máximos de cada ciclo multianual**, es una clara realidad y **sigue de momento una tendencia lineal y bien definida** que permite, con las debidas precauciones, hacer **predicciones para el futuro** y tomar las medidas correspondientes para atenuar y controlar su efecto en la actividad humana. De acuerdo con esta tendencia, el aumento de temperatura para el año 2030 sería de 2 ºC con respecto al año 2010.

- El comportamiento de los **cloruros en el concreto**, variable plenamente asociada a la durabilidad de la estructura, no solo se rige por el típico comportamiento estacional anual del ambiente, **sino también por los ciclos multianuales y por el CCG.**

Conclusiones

- Cualquier **daño a la infraestructura por efecto del ambiente** tiene que, a partir de ahora, considerar dos variables: **la típica que es el ciclo estacional anual más la de los ciclos multianuales**. Debe analizarse más información disponible para verificar cual de ellas tiene más peso en la durabilidad y por lo tanto en un modelo de predicción de vida de servicio o ciclo de vida.

- La **vida de servicio del concreto** debe ser **definida y modelada por etapas**, utilizando escalas a corto y largo plazo, a fin de determinar qué **factores y en qué escala hay una mayor influencia sobre la durabilidad** de la estructura

Gracias por su atención

EL GRAN DESHIELO

La criosfera de la Tierra –sus regiones heladas– se está derritiendo aceleradamente. De acuerdo al informe 2007 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (GIEC), 30 montañas glaciares alrededor del mundo perdieron más de medio metro de espesor en 2005, a resultado de un alza de la temperatura de 0,6ºC en el curso del siglo XX. La mayoría de los científicos están de acuerdo en que esto se debe en gran parte a nuestras emisiones de gases de efecto invernadero. Es posible que los efectos colaterales del mismo deshielo estén acelerando el proceso: por ejemplo, al deshelarse, el permafrost libera metano del suelo, un gas de invernadero duradero; y la pérdida del hielo marino del Ártico también significa la pérdida de sus cualidades reflectantes, ya que el agua absorbe mayor cantidad de la energía del sol que el hielo y la nieve. Aquí presentamos algunos de los lugares fríos en disminución alrededor del mundo.

El hielo marino del Ártico: El hielo marino del Ártico ha venido disminuyendo a un ritmo de 9% por década en el curso de los últimos decenios. Todo el hielo marino de verano podría desaparecer este siglo.

Septiembre 1979 Septiembre 2005

L. S. Eisenhart/Still Pictures

El permafrost ártico: El permafrost se ha calentado en hasta 2ºC desde los años 1980. Se pronostica un amplio deshielo, que liberará grandes cantidades de metano y carbono a la atmósfera.

J. Greenberg/Still Pictures

Los glaciares de Alaska, Estados Unidos de América: Muchos de estos disminuyeron tres veces más aceleradamente en la última década que en los 40 años precedentes, contribuyendo 0,14 milímetros al alza anual del nivel del mar.

La manta de hielo de Groenlandia: La más grande masa de hielo terrestre en el hemisferio norte está perdiendo hielo a razón de al menos 50 kilómetros cúbicos por año, suficiente para aumentar el nivel mundial del mar en 0,13 milímetros anualmente.

Los glaciares noruegos: Se espera que muchos de los 1.627 glaciares de Noruega se habrán derretido dentro del próximo siglo, incluso un tercio de los más grandes y la totalidad de los más pequeños.

Montañas del Cáucaso, Federación de Rusia: Aquí los glaciares se han reducido a la mitad durante el siglo pasado.

Montes Tien Shan, Asia Central: Los glaciares perdieron casi un tercio de su superficie en la segunda mitad del siglo XX, hasta 2 kilómetros cúbicos de hielo por año.

Glacier National Park, Estados Unidos de América: Dos tercios de los glaciares del Parque han desaparecido en la última década; para 2030 podría no quedar ninguno.

Los glaciares peruanos: Estos glaciares han perdido por lo menos un 22% de su área desde 1970 a esta parte, y el deshielo está acelerando, amenazando la provisión de agua y energía para la costa árida de la nación, donde viven dos terceras partes de su población.

El glaciar de Breidamerkurjökull, Islandia: El principal glaciar que emerge de la capa de hielo de Vatnajökull –la más grande de Europa– ha retrocedido 2 kilómetros entre 1973 y 2000. La mayoría de los glaciares de Vatnajökull han estado retrocediendo desde 2000.

Los Alpes, Europa Occidental: Los glaciares alpinos con probabilidad se reducirán al 5% de su volumen de 1970 para el fin de este siglo.

Los glaciares del Altiplano del Tibet: La zona de hielo más extensa fuera de las regiones polares, estos 46.298 glaciares están desapareciendo a razón de un 50% por decenio, amenazando los suministros de agua a través de gran parte de Asia.

El Everest, Himalaya: Los glaciares del Everest se han reducido por 2 a 5 kilómetros en los últimos cinco decenios, inundando lagos glaciales y comunidades cercanas.

Los glaciares del Monte Kenya: Los glaciares en este sitio de Patrimonio Mundial se han reducido rápidamente –con la pérdida del 75% de su superficie en el siglo pasado. Ocho de los 18 cuerpos de hielo han desaparecido.

www.relaibum.de

Glaciar de Chacaltaya, Bolivia: Chacaltaya, con la pista de esquí a mayor altura del mundo, ha perdido dos tercios de su masa en los años 1990 solamente, y podría desaparecer para 2010.

La capa de hielo Quelccaya, Perú: El deshielo de la más grande capa de hielo tropical del mundo ha acelerado a 60 metros por año; es probable que desaparecerá para 2020.

Los glaciares de Ruwenzori, Africa Oriental: Estos glaciares se han derretido en un 50% desde 1987, y podrían desaparecer por completo dentro de dos decenios.

Los glaciares Carstensz y West Meren, Indonesia: Carstensz se redujo en un 80% entre 1942 y 2000, mientras que el glaciar West Meren se había deshelado totalmente a fines de los años 1990.

Los campos de hielo de Patagonia: Las masas de hielo más grandes no-antárticas del hemisferio sur son los glaciares de más rápida desaparición de la Tierra, contribuyendo más de 9% del cambio mundial en el nivel del mar debido a los glaciares montañeses.

Kilimanjaro, República Unida de Tanzania: La zona de hielo se redujo en un 80% en el siglo pasado (las imágenes muestran el cambio en el campo de hielo norteño entre comienzos de los años 1950 y 1999).

Los glaciares neozelandeses: Los glaciares han venido disminuyendo desde mediados del siglo XIX, y han perdido la mitad de su superficie desde entonces. La quebradura de los glaciares está presentando un peligro para los escaladores.

Mar de Amundsen, Antártida Occidental: La cantidad de hielo que los glaciares están perdiendo al mar es 60% mayor que la acumulada por las nevadas. Esto podría elevar los niveles del mar en alrededor de 0,2 milímetros por año.

Barrera de hielo Larsen B, Península Antártica: Una vasta superficie de 3.000 kilómetros cuadrados de esta barrera de hielo se desintegró en 2002. Desde entonces, los glaciares locales se han movido más rápidamente, liberando mayor cantidad de hielo al mar.

- Hielo marino del Ártico
- Permafrost ártico
- Hielo terrestre permanente y glaciares
- Acumulación de nieve antártica
- Frontera ártica

Fuentes: GEO Snow and Ice 2007; GIEC; AAAS; Earth Policy Institute; NASA; Academia de Ciencias de China.
Mapa: PNUMA-WCMC/ National Snow and Ice Data Center.

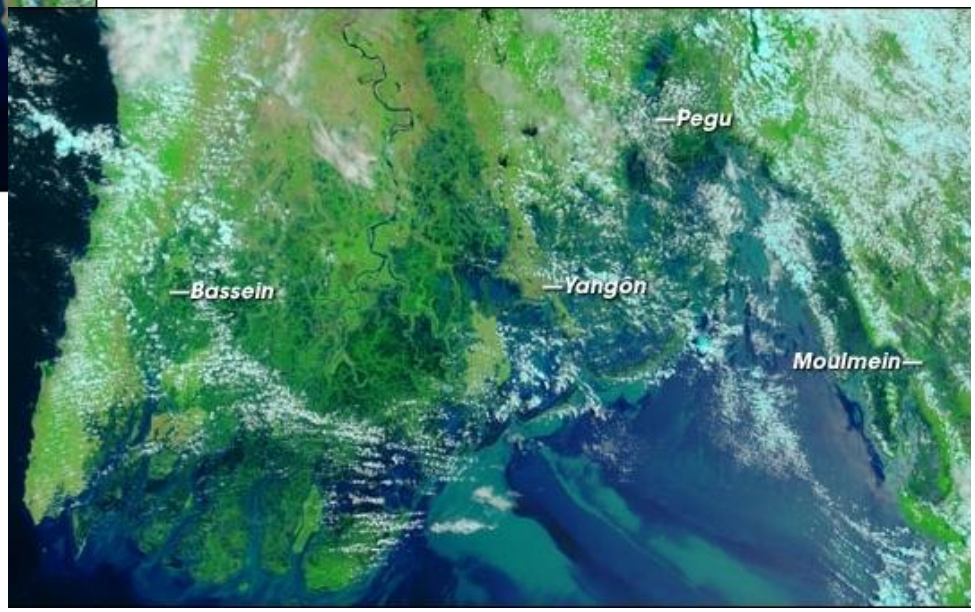
FUENTE:
http://www.unep.org/wed/2007/downloads/documents/Tunza%20Meltdown_SP.pdf

Antes del huracán

April 15, 2008

Myanmar 2008

Después del huracán



Myanmar 2008

Las intensas lluvias pueden llegar a afectar nuestro patrimonio histórico [1,2]

El aumento del nivel mar puede llegar a afectar a miles de monumentos[2], por ejemplo la muralla de Campeche y la zona arqueológica de Tulum en México.

Tulum, México.

FUENTE: 1.- http://www.nrdc.org/globalWarming

2.-http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=12379768

Puente del Piedraplén, Cuba

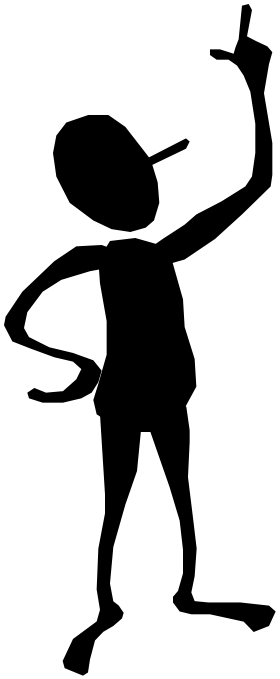
Sismo en Guadalupe Victoria, México

Abril, 2010

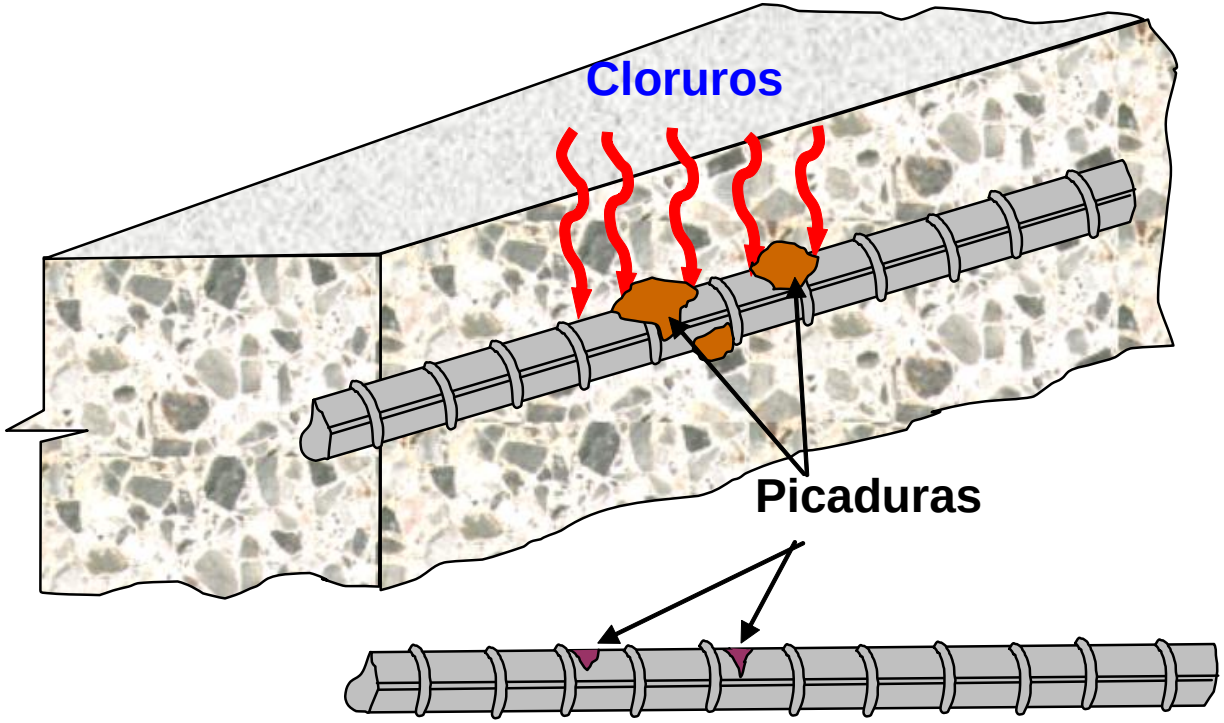
Chile, 2010

Puente Minneapolis, E.U.A

¿ Pero qué son los cloruros?



Cloruros(Cl^-): Son iones muy agresivos que producen una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero en corto tiempo.



Cloruros libres:

Son los iones presentes en la solución del poro, capaces de despasivar al acero y provocar su corrosión.

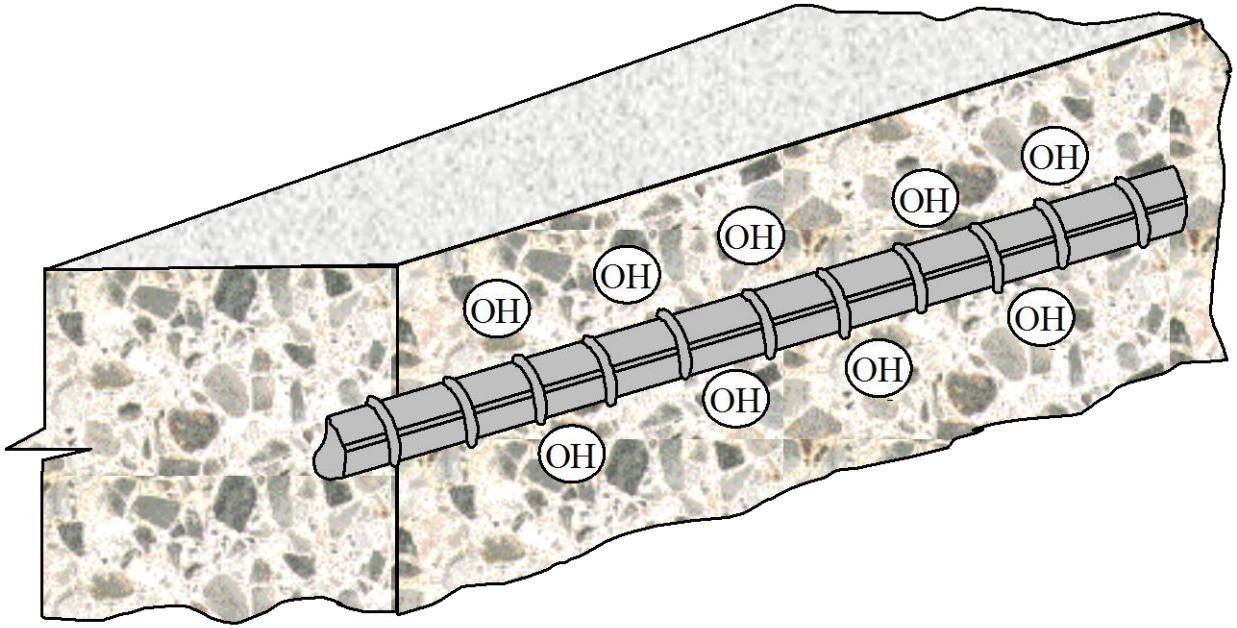
Cloruros combinados:

a. Son aquellos químicamente combinados con aluminatos de calcio hidratados (C_3A o C_4AF).
b. Son aquellos débilmente combinados con silicatos de calcio hidratados .

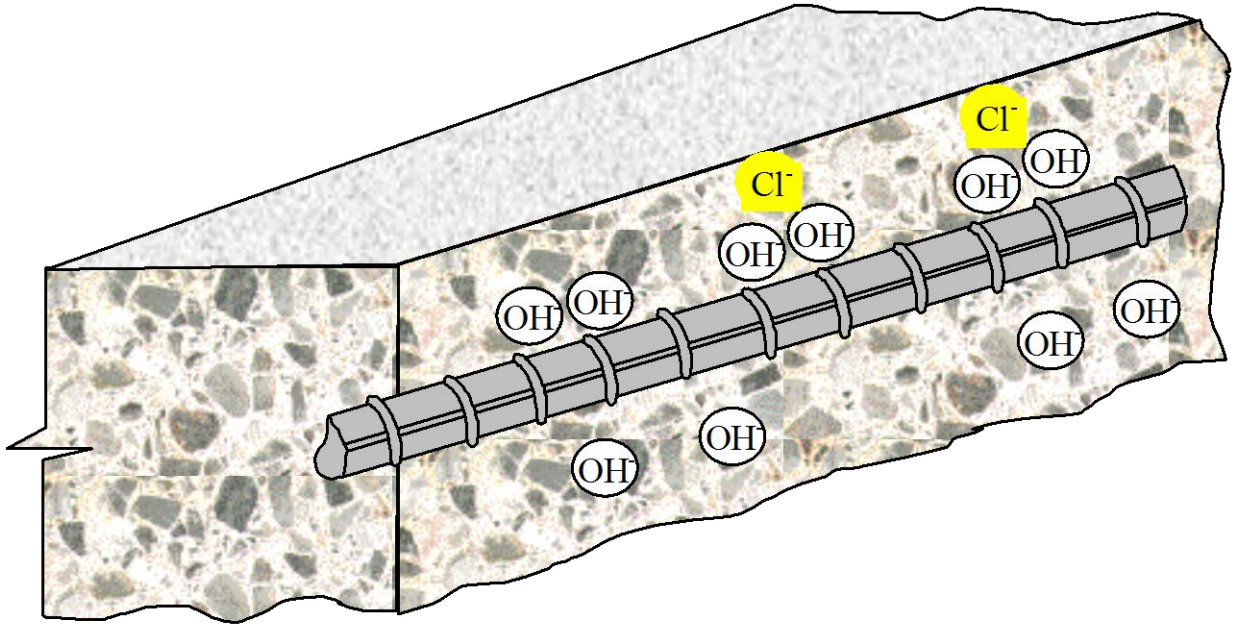
Cloruro total:

Es la cantidad que contempla los cloruros combinados y los cloruros libres.

Hidróxido (OH^-): Radical químico, de naturaleza básica que confiere un elevado pH a la solución del poro del concreto y que afecta directamente la concentración de cloruros necesaria para iniciar el proceso de corrosión.



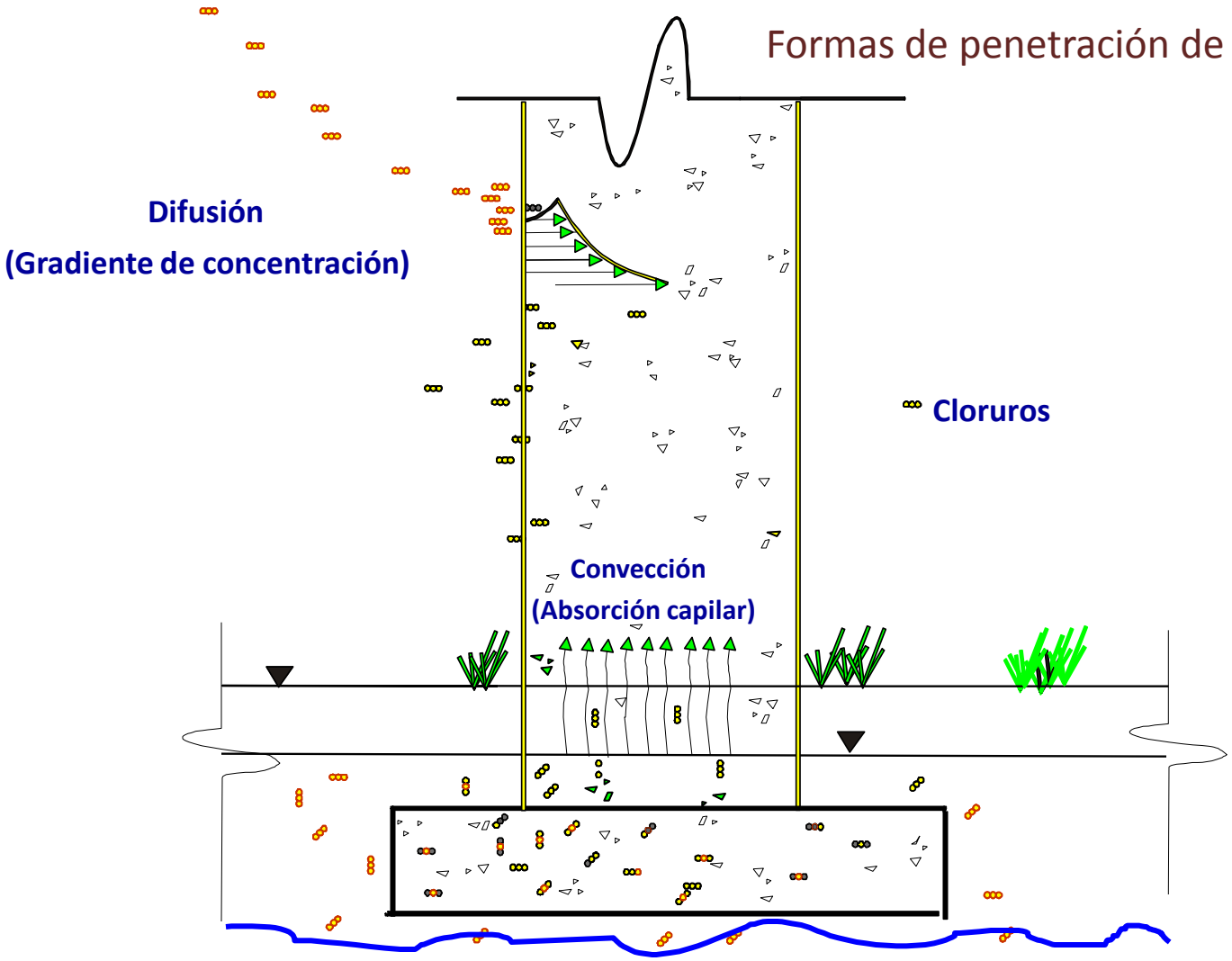
Relación Cl^-/OH^-: Parámetro aceptado para tomar en cuenta el inicio de la corrosión. Sopesa la acción de los cloruros que son despasivantes con la de los OH^- que permiten mantener pasivo el acero.



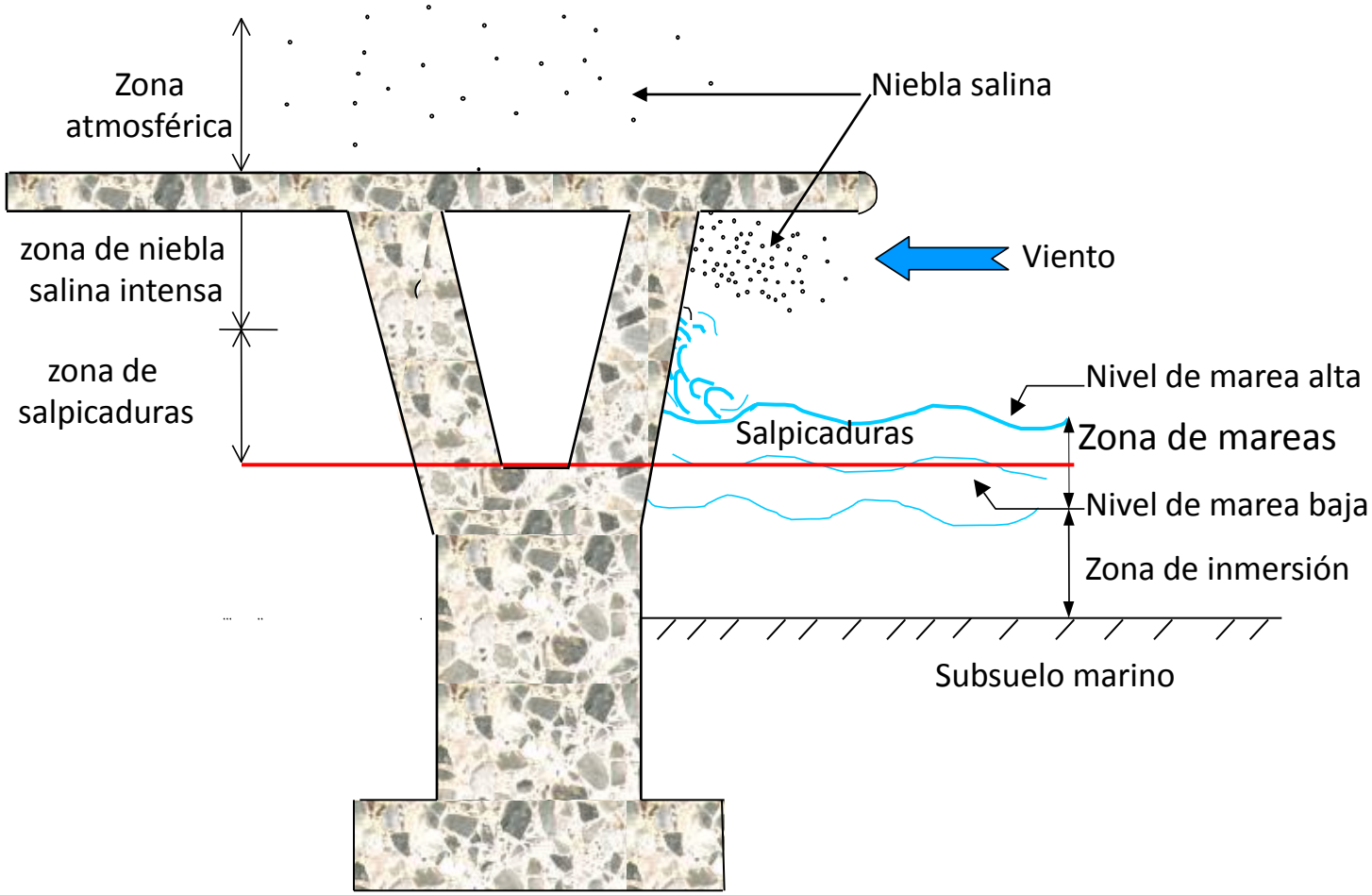
Difusión: La difusión de los cloruros en el concreto es interpretada como el proceso mediante el cual la materia es transportada de una parte de un sistema a otro dependiendo de su peso molecular, de la temperatura del medio y del gradiente de concentración[1] (perfil de cloruros).

[1] J. Crank, The mathematics of diffusion, 2ª edición, Oxford Science Publication, 1986.

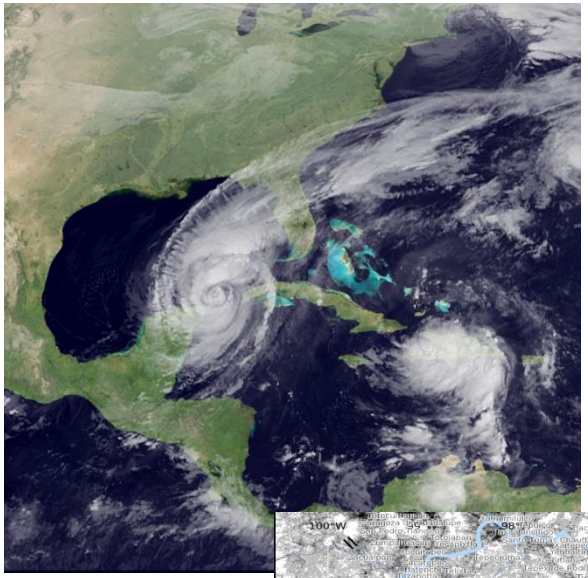
Formas de penetración de cloruros

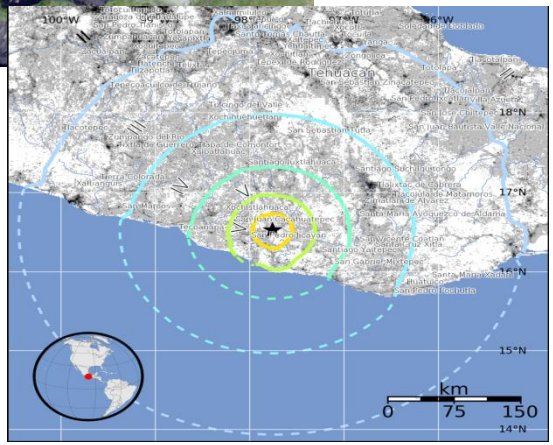


La fuente del cloruro.

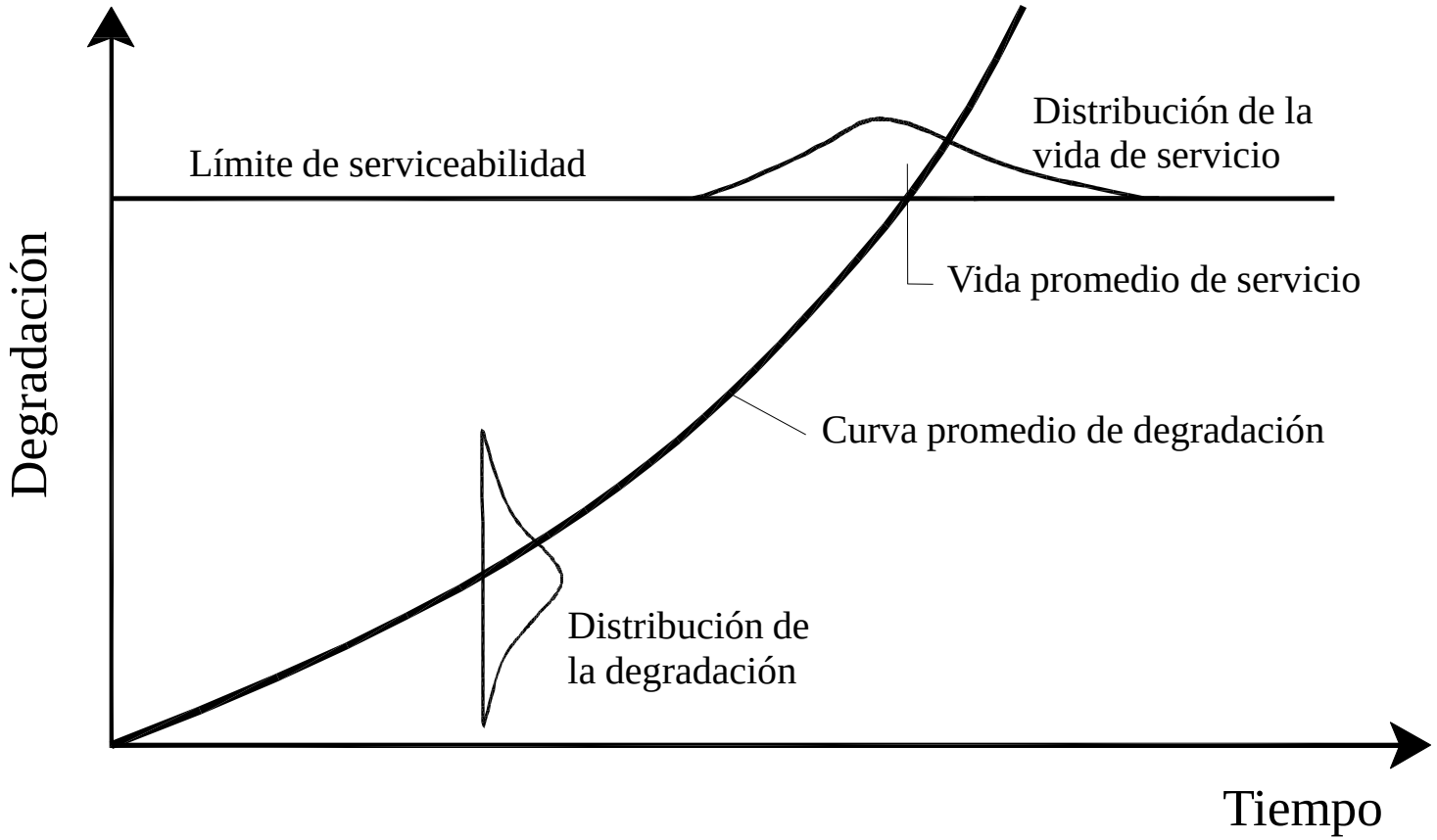


- Es muy poca la literatura [3-5] que habla del efecto de CCG en la infraestructura mundial de acero y concreto.
- El CCG podría estar relacionado con el aumento en la velocidad de degradación de las estructuras de concreto.
- Ejemplo: **La acción combinada de sismos y huracanes** más frecuentes e intensos propiciando un mayor ingreso de cloruros de mar provocando **impactos a la infraestructuras** en sitios cuyas construcciones no contemplaron en su diseño y construcción este tipo de acciones.





3. CSIRO, Infrastructure and Climate Change Risk Assessment for Victoria. 2007, Victorian Goberment: Victoria, Australia.
4. Kintisch, E., Global change - Roads, ports, rails aren't ready for changing climate, says report. Science, 2008. **319**(5871): p. 1744-1745.
5. Denault, C., Millar, R.G. and Lence, B.J., Climate Change and Drainage Infrastructure Capacity in an Urban Catchment, in Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. 2002, Canadian Society for Civil Engineering, Canada. p. 1-10.



Durability Design of Concrete Structures. Edited by A. Sarja and E. Vesikari. Chapter 7 Durability models. pp: 97-111.

Propiedades químicas del Cemento Portland Ordinario (CPO) utilizado

SiO_2	21,30	
Al_2O_3	4,67	
Fe_2O_3	4.19	
CaO	64,98	
K_2O	0,16	3.50 % Max
SO_3	2,62	
Ca	1,48	
MgO	0,83	5.00 % Max
C_3S	52,00	
C_2S	22,00	
C_3A	5,00	
C_4AF	13,00	
Ign	1,50	3.00 % Max
Ins	0,47	0.75 % Max

Propiedades físicas del CPO utilizado

Superficie específica	**Método Blaine**	**3532**	**2800 cm^2g^{-1}**
Finura	U.S. 200	97,85	
	U.S. 325	88,63	
Vicat	Inicial	133	0.45 h
	Final	165	8.00 h
Falso fraguado	% Penetración	69	50 %
Auto Clave	% Expansión	0	0.80 %
Resistencia a la compresión	24 h	83	
	3 Días	203	130 kg cm^{-2}
	7 Días	255	200 kg cm^{-2}

Estimación del contenido de iones cloruro totales para el material utilizado en la fabricación de los especímenes

Material	Contenido de cloruros en nuestros materiales	Contenido típico de cloruros (ACI-318 Código de construcción)
Cemento	8,78 ppm*	50-100 ppm
Arena	0,0227 ppa**	0.001-0.04 ppa
Agregado grueso	0,0207 ppa	0.001-0.04 ppa
Agua	213 ppm	No más de 250 ppm

* ppm, partes por millón; ppa porcentaje por peso de agregado

Resistencia a la compresión obtenida en los cilindros de 15 x 30 cm de acuerdo a la norma ASTM C39

Relación a/c	0,76	0,70	0,53	0,50	0,46
f'c (kg cm^{-2})	157,00	172,50	221,50	290,33	269,67