

Sostenibilidad en estructuras de hormigón



Paulo Helene

*Director PhD Engenharia
Director y Consejero IBRACON*

Miembro Red PREVENIR CYTED

Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP

fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life

*Presidente de honor Asociación Latino Americana de Control de Calidad,
Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT Int.*

CUMex

29 Abril, 2015

Chiapas/ México

1

Liderazgo por una cultura sostenible (Ing. Darío Ibarguengoitia)

(Revista Construcción y Tecnología en Hormigón, v.4, p. 50-53, Enero 2015)

- “No es un lujo diseñar y construir con fundamentos sostenibles, sino que es un compromiso que ya no puede uno omitir”
- “Ahora más do que nunca no puede concebirse la sostenibilidad si no es a través de un diseño holístico, integral, lo que significa una colaboración muy estrecha entre arquitectos y ingenieros...”

2

Sustentabilidad

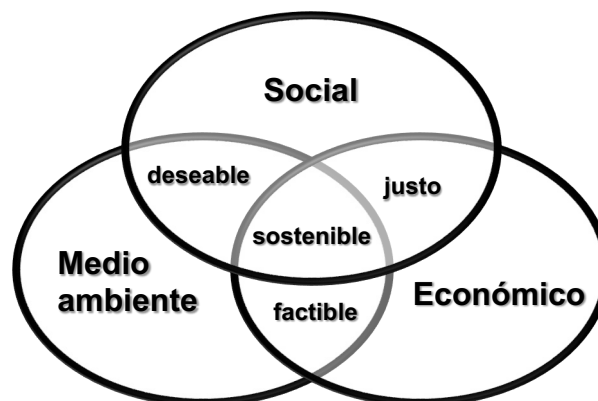
“...és el desarrollo que atiende las necesidades del presente sin comprometer las del futuro...”

Ambiental - Social - Economico

3

La Construcción Sustentable

Tripod de la Sustentabilidad



4



**Concrete
Joint Sustainability
Initiative**

[About](#)
[News & Events](#)
[Contact](#)

What is a Sustainable Material?

The Sustainable Value of Concrete

Examples & Data

Choosing Concrete

Concrete Resiliency



Concrete's Vital Contribution to Sustainable Development

After water, concrete is the most widely used material in the world. Concrete is literally the foundation of our homes, communities, and cities. As such it has a critical role to play in the future success of sustainable development.

Sustainability is complex. On the most basic level it means being mindful of the interdependence between our economic activities, our social values, and our planet's capacities. It is about finding ways to meet our needs in one area without diminishing or damaging another, today and for future generations. Society's impacts are too large to assume that nature can simply absorb them as it could even just a hundred years ago;

Fast Facts
Concrete bridges can withstand extreme forces without collapse.

Get the Toolkit >>
The Concrete Sustainability Toolkit provides information sheets and presentations for quick reference or sharing information with others.

Connect with us

[f](#) [t](#) [in](#)

www.sustainableconcrete.org

5

Investigaciones recientes en Brasil

6

Nanotubos e Fibras de Carbono

Un camino para la sostenibilidad de materiales cementicios

Por SOUZA, T. C. C.; SUZUKI, S.; LUDVIG, P.; CALIXTO, J. M.; LADEIRA, L. O.
CONCRETO & CONSTRUÇÕES. São Paulo: IBRACON, jan. 2015

Utilización de NTC y de NFC con el objetivo de aumentar la resistencia y de reducir los poros del hormigón.

7

Nanotecnología: NTC y NFC empleados na fabricación de cementos

■ Resultados:

- ✓ Aumento de la durabilidad por refinamiento de los poros en el la pasta de cemento hidratado (reducción del 20% en el diámetro de poro)
- ✓ Reducción del contenido de Clínker para una misma resistencia por aumento de la resistência del hormigón en hasta 21%.

8

Ayer hormigón... mañana Cemento

El uso de residuos de hormigón en la producción de cementos

Por NOBRE, T. R. S.; GUERREIRO, A. Q.; KIRCHHEIM, A. P.

CONCRETO & CONSTRUÇÕES. São Paulo: IBRACON, jan. 2015

Objetivo: Evaluar la posibilidad de utilizar residuos de hormigón molido como composición de la harina cruda de cemento Portland.

9

Resultados:

- ✓ Beneficio ambiental;
- ✓ Clausura del ciclo de vida;
- ✓ Reducción de la cantidad de CO₂ comparado con el cemento original

¡ VIABLE !



10

Documentos Internacionales

11

Environmental Design of Concrete Structures – general principles

TASK GROUP 3.6, Lausanne: **fib**, 2008. (Bulletin 47)

- La industria de la construcción debe contribuir a realización de una sociedad sostenible mediante el establecimiento de uno sistema de diseño ambientalmente correcto para estructuras de concreto

12

Environmental Design of Concrete Structures – general principles

- Este informe proporciona los principios generales relativos a los impactos ambientales al realizar el diseño, construcción, uso, mantenimiento / gestión, demolición, eliminación y la reutilización en la estructura de hormigón.
- El punto principal es la reducción del uso de materia prima

13

- Muchas otras comisiones de **fib** (*fedération internationale du beton*) desarrollan trabajos a respecto de la sustentabilidad
- Por ejemplo en la Comisión 6, que cuenta con la participación de dos brasileños: Prof. Paulo Helene y Iria Doniak, esta siendo desarrollado un trabajo a respecto desde tema específico aplicado a la industria de prefabricados en el TG 6.15

14

Normativas

- ✓ CEN/TR 15941:2010 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Methodology for selection and use of generic data
- ✓ ISO 13315:2011. Environmental Design of Concrete Structures
- ✓ ISO 21929:2012. Sustainability Indicators (energy, materials, water and land)

15

Normas Recientes

ACI Concrete Sustainability. *Forum I, 2009; Forum II, 2010; Forum III, 2011, Forum IV, 2012; Forum V, 2012 ; Forum VI, 2013 y Forum VII, 2014.*

*“reducir el volumen y reducir el CO₂”
“hormigón es un material regional, y como tal debe ser tratado”*

ISO TC 71/SC 8:(in progress) Environmental Management for Concrete and Concrete Structures

*ISO 13315-1: General Principles
ISO 13315-2: System Boundary and Inventory Data
ISO 13315-3: Constituents and Concrete Production
ISO 13315-4: Environmental Design of Concrete Structures
ISO 13315-5: Execution of Concrete Structures
ISO 13315-6: Use of Concrete Structures
ISO 13315-7: End of Life including Recycling
ISO 13315-8: Labels and Declaration*

16

Novedades desde “ACI Concrete Sustainability Forum VI”. Phoenix, Arizona, Octubre 2013

1. Comprender el impacto de la infraestructura y de la construcción de edificios con el cambio climático y agotamiento de los recursos;;
2. Comprender las oportunidades para extender la vida útil de las estructuras de concreto, utilizando materiales eco eficientes, y incorporando concreto de ultra-alto rendimiento;
3. Identificar las innovaciones que pueden potencialmente transformar la industria del cemento buscando cemento de bajo carbono;
4. Contribuir para que los pliegos y guías de diseño y construcción de todo el mundo introduzcan recursos para la incorporación efectiva del concreto en proyectos ecológicos y sostenibles.

17

**“ACI Concrete Sustainability Forum VII”
Washington DC October 29, 2014**

Ha sido discutido la preparación del
ACI 130R “Guideline to Concrete
Sustainability”, así como empezado un
programa de pavimentos sostenibles

18

En Estados Unidos también:

AHPBC American High-Performance Buildings Coalition

Unión de 27 asociaciones

Apoyar el desarrollo de edificios Sostenibles y normas

NRMCA

The National Ready Mixed Concrete Association

- ✓ *Empezó programa LCA (Life Cycle Assessment) completo y abrangente*
- ✓ *Introduce las mezclas de hormigón con EPD (Environmental Product Declaration).*
- ✓ *Desea incrementar ventas y mejorar image del sector*

19

Herramientas Interesantes

20

EPD

Enviromental Product Declaration

21

ENVIROMENTAL PRODUCT DECLARATIONS



22

¿Qué és?



“An EPD® is an certified environmental declaration developed in accordance with the standard ISO 14025:2010”Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures

El objetivo del sistema EPD es apoyar la oferta y demanda de productos y servicios de construcción que causan un menor impacto al medio ambiente, a través de la difusión de los procesos de producción de datos precisos y verificables desde un punto de vista del desempeño ambiental.

Se trata de un documento que busca la neutralidad y la credibilidad de los productos con la finalidad de fomentar el desarrollo sostenible a través del mercado.

www.greenspec.co.uk

23

ECO PLATAFORM



- Es conjunto de operadores, con el objetivo de desarrollar la información ambiental verificada en los productos de construcción, en especial los EPD's.
- Los miembros de la plataforma ECO son responsables por una mejora continua de normalizaciones, avaluación de la calidad, mejores practicas y una comunicación eficiente de las informaciones de la plataforma.

<http://www.eco-platform.org/>

24

ECO PLATAFORM



Consistency	▶	Mutual agreement Common procedures
Reliability	▶	Based on European and International standards Verified scientific approach
Volunteer	▶	Market driven Declaration of values
Transparency	▶	Credible information Full information dossier

<http://www.eco-platform.org/>

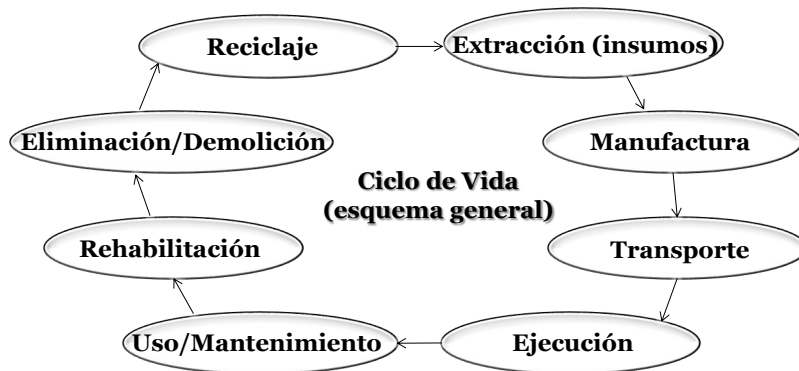
25

Nuevas Siglas

- ✓ LCA → Life Cycle Assessment
- ✓ LCI → Life Cycle Inventory Analysis
- ✓ RSL → Reference Service Life
- ✓ EPD → Environmental Product Declaration
- ✓ PCR → Product Category Rules
- ✓ LCIA → Life Cycle Impact Assessment
- ✓ ESL → Estimated Service Life
- ✓ EPDB → Energy Performance of Buildings Directive

26

LCA (*Life Cycle Assessment*)



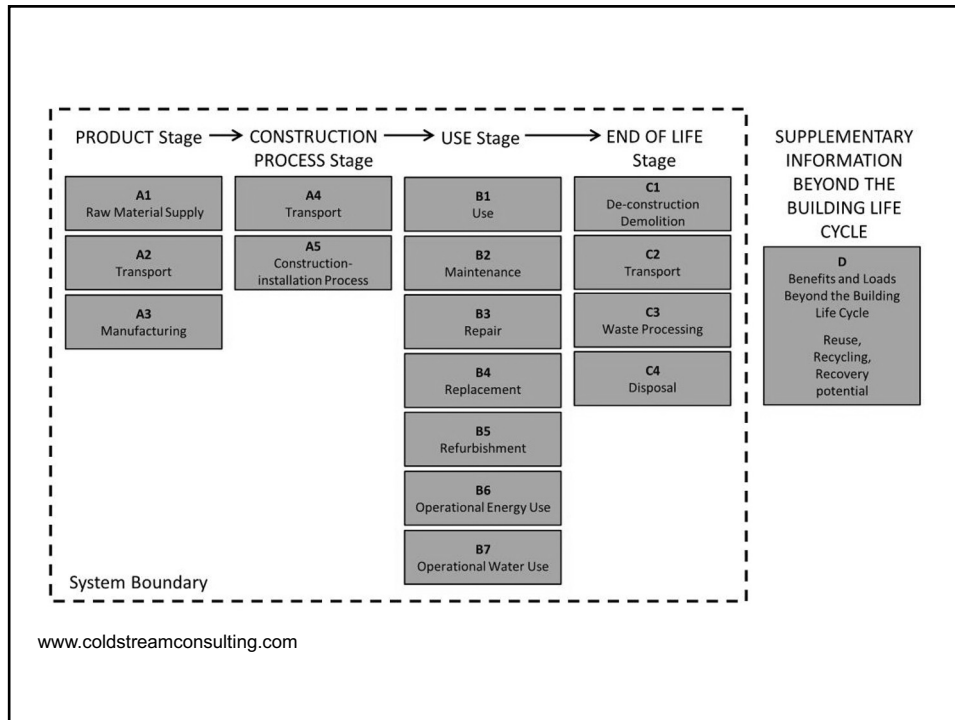
27

LCA (*Life Cycle Assessment*)

La *EN 15804:2012* establece un número mínimo de módulos de la vida útil para ser considerados en el EPD;

- EPD1 (Cradle to Gate) (cuna a la puerta)**
- EPD2 (Cradle to Gate with Options)**
- EPD3 (Cradle to Grave) (cuna a la tumba)**

28



29



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica



Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida-PBACV

Armando Caldeira-Pires
Coordenador do CT2-Inventários/PBACV (Prof. UnB)

OFICINA 02: GT CONSTRUÇÃO/CT2/PBACV
Inmetro, 21 de Junho de 2013

© Armando Caldeira-Pires - Projeto Brasileiro de ICV – Jun2013

30



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica



Projeto Brasileiro “ICV para a Competitividade da Indústria Brasileira” ICV Brasil

MCT, IBICT, FINEP, Inmetro, INT, UnB, USP, UTFPr,
CNI, SEBRAE, Petrobras, ABCV, Abipti, ABNT

Reuniões Preparatórias: de 2004 a 2006
Início Oficial: Novembro 2006

Coordenação: Instituto Brasileiro para Informação Científica e Tecnológica-IBICT/MCT
Apoio: MCT

Fim da Primeira Fase: 2010
Apoio para a 2a. Fase (2010-2012): MCT/MDIC

© Armando Caldeira-Pires - Projeto Brasileiro de ICV – Jun2013

31

El futuro indica lo LCA, LCIA y LCI ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA ”DE LA CUNA A LA TUMBA”

Indicadores de evaluación de impacto:

- Potencial de calentamiento global, en kg de $\text{CO}_{2, \text{eq}}$;
- Potencial de agotamiento del ozono estratosférico: en kg de $\text{CFC}_{11, \text{eq}}$;
- Potencial de acidificación, en kg de $\text{SO}_{2, \text{eq}}$;
- Potencial de eutrofización, en kg de $\text{PO}_4^{3-, \text{eq}}$;
- Potencial de agotamiento de recursos abióticos, en kg de Sb_{eq} ;
- Potencial de formación de ozono fotoquímico, en kg de etano;

32

El futuro indica lo LCA, LCIA y LCI
ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA
"LA CUNA A LA TUMBA"

Indicadores de los inventarios de Ciclo de Vida:

- Consumo de energía primaria no renovable, en MJ;
- Consumo de energía primaria renovable, en MJ;
- El uso de combustibles secundarios no renovables, en MJ;
- El uso de combustibles secundarios renovables, en MJ;
- El consumo de agua dulce, en m³;
- Producción de residuos (peligrosos, no peligrosos y radioactivos), en kg;
- El material para su reutilización, reciclado, recuperación de energía, en kg;

33

**Sistemas de
clasificación y puntaje
para la sostenibilidad
“el negocio”**

34

Que es LEED?

(Leadership in Energy and Environmental Design)

Certificación para edificios sostenibles creados y
concedidos por la ONG norteamericana *U.S. Green
Building Council (USGBC)*.

Consejo Mexicano de Construcción Sustentable



35

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design

(Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)

Se trata de un sistema de puntuación desarrollado por USGBC (Estados Unidos Green Building Council de los EE.UU.) para medir el desempeño ambiental de diseño, construcción y mantenimiento de edificios.

El sistema se utiliza para comparar el rendimiento ambiental entre edificios por la suma de los créditos de 1-110.

Los cuatro niveles de acreditación y puntuación son :

Certified	→ 40-49 créditos
Silver	→ 50-59 créditos
Gold	→ 60-79 créditos
Platinum	→ 80+ créditos

36



37



38

Green Building Design & Construction (BD&C)					
Category	PREVIOUS LEED-NC v.2.2		NE LEED-BD&C v3*		CHANGE
	Prerequisites	Credits	Prerequisites	Credits	
Sustainable Sites	1	14	1	26	+12 credits
Water Efficiency	-	5	1	10	+1 prereq.; +5 credits
Energy & Atmosphere	3	17	3	35	+18 credits
Materials & Resources	2	13	2	14	+1 credit
Indoor Environmental Quality	3	15	3	15	No change
Innovation in Design	-	5	-	6	+1 extra credit
Regional Priority	-	-	-	4	+4 extra credit
Total Points	9	69	10	100+10	

39

CLASIFICACIÓN DE LOS PAÍSES CON MÁS CASOS EN CERTIFICACIÓN LEED EN EL MUNDO 02 de julio 2014			
POSICIÓN	PAÍS	PROYECTO REGISTRADOS	PROYECTO CERTIFICADOS
1°	EUA	50.129	19.778
2°	CHINA	1.738	492
3°	BRASIL	870	176
4°	EMIRATOS ARABES UNIDOS	858	107
5°	INDIA	561	238
6°	CANADÁ	554	351
7°	MEXICO	477	106
8°	ALEMANIA	385	107
9°	TURQUÍA	358	59
10°	CHILE	264	61

<http://es.wikipedia.org/wiki/LEED>

40

Como el Concreto puede contribuir?

En el LEED Credit Contribution Potential

May contribute to earning LEED credits in the category:

Credit 1.1 → Innovation and Design, desde que cemento $\leq 0,6\%C$

Credit 4.1 → Recycled Content, 10% (un punto)

Credit 4.2 → Recycled Content, 20% (dos puntos)

Credit 5.1 e 5.2 → Materials and Resources category, if materials used in the mixture are extracted or produced within 500 miles of the project site (un punto para 10% y dos puntos para 20%)

41

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Brasil:



f_c de proyecto: 50MPa

Utilización de pretensado para reducir las dimensiones de la estructura.

Ventura Corporate Towers
Rio de Janeiro/RJ
PLATINUM

42

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Brasil:



f_c de proyecto: 50MPa

Eldorado Business Tower
São Paulo/SP
PLATINUM

43

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Brasil:



Razones del Platinum:

- ✓ Uso racional del agua
- ✓ Desarrollo de la tierra
- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Cuidado ambiental
residuos
- ✓ Aire acondicionado
- ✓ Frenado de elevadores
- ✓ Materiales sostenibles

44

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Mexico:



- ✓ El edificio más alto de México y la segunda torre más alta de América Latina
- ✓ Creado para soportar un terremoto de 8,5 de magnitud
- ✓ Reducir el consumo de agua potable en un 30%

Torre Mayor, Mexico City,
Gold

<http://www.usgbc.org/articles/mexicos-green-building-boom-photos>

45

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Mexico:



Razones del Platinum:

- ✓ Reducción del 30 % en el consumo de agua potable;
- ✓ Reducción del 35 % en la luz de densidad de potencia;
- ✓ Iluminación natural en el 90% del espacio ocupado.

Von Haucke ,
Ciudad de México.

Platinum

<http://www.usgbc.org/articles/mexicos-green-building-boom-photos>

46

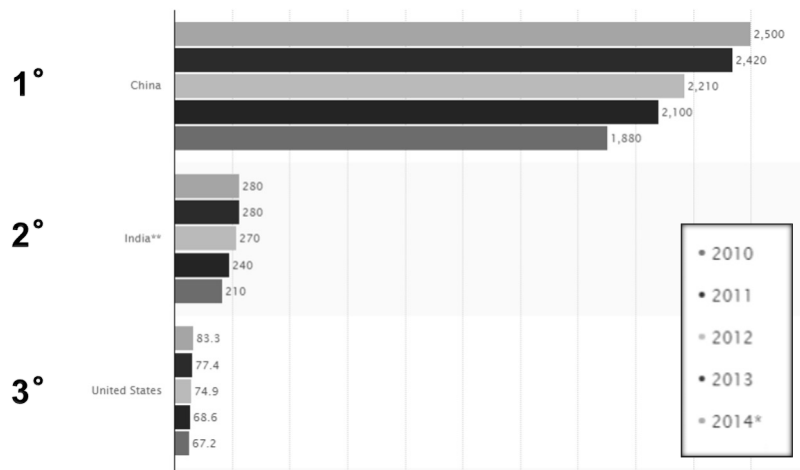
¿Porque esos Programas
controlan mucho el edificio en
USO y no dan mucha
importancia a los Materiales y
Estructura ?

47

¿ Si el cemento es responsable
por 5% a 6% de toda la emisión
de CO₂ del planeta porque no
controlar hormigón desde un
punto de vista de la
Sustentabilidad?

48

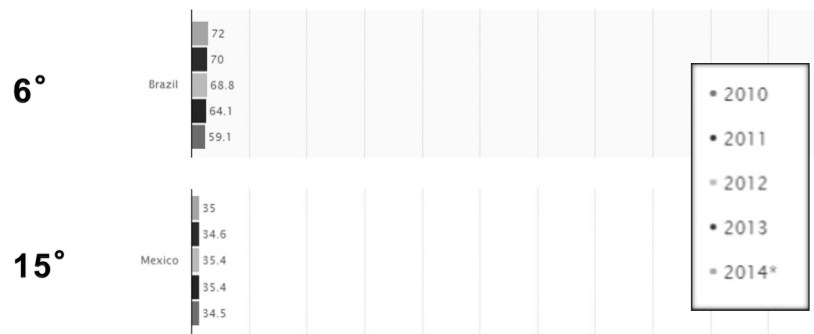
Major countries in worldwide cement production from 2010 to 2014 (in million metric tons)



<http://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>

49

Major countries in worldwide cement production from 2010 to 2014 (in million metric tons)

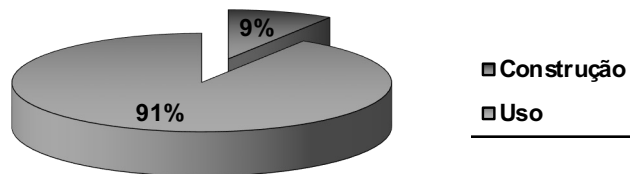


<http://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>

50

Edificación - Emisiones de GWP

*Considerando una vida útil de 50 años para
una habitación de clase mediana →
Visión holística: operación y uso*



51

CONCLUSIONES

52

- El cemento no es el villano principal
- El material concreto no está prohibido o inservible
- Ingeniero Civil de concreto no es uno irresponsable

53

El noble concepto de sustentabilidad es hermoso, se viene platicando en las estructuras de concreto y se puede hacerlo aún mejor!

54

Como caminar en la dirección de la SUSTENTABILIDAD en las estructuras de concreto?

55

Redefining High-Performance Concrete Structures

*Leo Panian; Phillip Williams; Mike Donovan
Concrete International nov. 2012 p. 23-30*

1. Traer áridos hasta de 800km de distancia es interesante
2. 70% de escoria o de ceniza volante clase F
3. Cimentación: 55MPa a 91días Contenido: 119kg/m³
4. Columnas 55MPa, a 91días Contenido: 133kg/m³
5. Losas pretensadas 31MPa a 3días y 41MPa a 56días.
Contenido = 208kg/m³

56

Alternativas:

1. actuar sobre los materiales
2. emplear áridos reciclados
3. emplear hormigón autocompactante
4. emplear hormigón de elevada vida útil
5. emplear hormigón de alta resistencia

57

1. Actuando sobre los materiales constitutivos:

- cemento
- árido miúdo
- árido grueso
- agua;
- aditivos;
- armadura / acero;
- encofrado / moldes

58

La INICIATIVA DE SOSTENIBILIDAD del CEMENTO (WBCSD – CSI)



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

- 1999
- 10 grupos internacionales

59

La INICIATIVA DE SOSTENIBILIDAD del CEMENTO (WBCSD – CSI)



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

- 24 grupos de todo el mundo son miembros del CSI
- En Brasil:



60

La INICIATIVA DE SOSTENIBILIDAD del CEMENTO (WBCSD – CSI)



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

- En Mexico:



61

COMO MITIGAR LAS EMISIONES DE CO₂?



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

- Eficiencia Energética
- Combustibles alternativos
- Adiciones al cemento
- Captura e aprisionamiento de carbono

62

2. El uso de hormigón con áridos reciclados de los residuos generados por la nueva construcción o demolición

63

Áridos reciclados



- Reciclados de base cementicia (hormigón y morteros)
- Reciclados de base cerâmicas (pisos, albañilería)
- Sustitución de 20% a 50% del árido fino y grueso sin afectar resistencia y durabilidad

64

**Durability of Recycled Aggregates
Concrete: A Safe Way to Sustainable
Development (2004)**

Cement and Concrete Research 34(11) p. 1975-80

***citado por 173 artículos
Google Scholar***

65

**3. Empleando hormigón auto-
compactable de elevado
desempeño SCC**

66



67



68

**hormigón
auto-compactable**



**hormigón
vibrado**

69

10 X productividad

CC: vaciado y acabado: 4,4min + 3,3min

n° de obreros: 5 (cinco)

hormigón (2), vibración (1) e acabado (2)

0,870 hombres-hora / m³ de hormigón

CAA: vaciado y acabado: 1,2min

n° de obreros: três (3)

hormigón (1) e acabado (2)

0,081 h.h / m³ de hormigón

70



71

SCC

1. reduz ruido → salud
2. reduz tiempo → productividad
3. aumenta uniformidad
4. reduz energia eléctrica → no utiliza vibrador
5. reduz desgaste de encofrados / moldes
6. aumenta vida útil

72

4. Empleando concreto de elevada vida útil

73

Carbonatación

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_c = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ años}$$

$$f_c = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 240 \text{ años}$$

$$f_c = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ años}$$

74

Centro Empresarial Nações Unidas -Torre Norte
São Paulo- 1997
Altura 179 m
 $f_c = 50\text{MPa}$



75



250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competitividade precisa da Engemix. Como a M&B Engenharia precisa, quando se resolve a tecnologia e o saber técnico da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 30m x 30m x 4m, correspondente a 2.700 m³ de concreto, lançado em 20 horas para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um cilindro de 4m x 4m x 30m. Daí surgiu o Concreto Engemix, para a solução da estrutura da Torre Norte, um edifício de 179 metros.

O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra-prima. Tecnologia de ponta, engenharia e construção. E o resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra-prima. Tecnologia de ponta, engenharia e construção. E o resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra-prima. Tecnologia de ponta, engenharia e construção.

Em meio de 10 horas, foram bombeados 2.700 m³ de concreto para 179 metros. Bombardeio de concreto de altura que significou carga de 5 m³ de concreto por hora de lançamento, equivalentes a 72 toneladas.

O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra-prima. Tecnologia de ponta, engenharia e construção. E o resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra-prima. Tecnologia de ponta, engenharia e construção.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competitividade precisa da Engemix. Como a M&B Engenharia precisa, quando se resolve a tecnologia e o saber técnico da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 30m x 30m x 4m, correspondente a 2.700 m³ de concreto, lançado em 20 horas para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um cilindro de 4m x 4m x 30m. Daí surgiu o Concreto Engemix, para a solução da estrutura da Torre Norte, um edifício de 179 metros.

CONCRETO ENGEMIX®

76

Sustainable Development

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with 500 years service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

Kumar Mehta

Reducing the Environmental Impact of Concrete
Concrete International. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

77

5. Empleando hormigón de altas resistencias HSC

78

Indicadores de Inventario de ciclo de vida

- **CO₂?**
- **Energia?**
- **Agua dulce?**
- **Vida útil?**

79

Columna para 500t

$$f_c = 20 \text{ MPa}$$

$$f_c = 50 \text{ MPa}$$

80

Considerando una columna central típica de un edificio de 20 pisos sección cuadrada, 3m de altura, Refuerzo principal

Fuerza normal característica = 500 tf			
f_c (MPa)	taxa de refuerzo (%) → total de las columnas	sección (cm)	adotado (cm)
20	0.4 → 49kg	71.8 x 71.8	72 x 72
50	0.4 → 24kg	46.9 x 46.9	50 x 50
20	4.0 → 255kg	51.2 x 51.2	52 x 52
50	4.0 → 151kg	39.5 x 39.5	40 x 40

81

$$f_c = 20\text{MPa}$$

$$\text{Cemento} = 280 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena} = 845 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Grava} = 1036 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 210 \text{ kg/m}^3$$

82

$$f_c = 50\text{MPa}$$

Cemento = 420 kg/m³

Arena = 801 kg/m³

Grava = 1010 kg/m³

Agua = 160 kg/m³

83

Las emisiones gaseosas y el consumo de energía

Material	GWP (kg/t)	Energía consumida (kWh/t)
Clinker Portland	1447 (880)	998
ferro gusa (minério)	3006	5.060
CA 50 & CA 60 (sucata/chatarra)	719	20.000

**Global warming potential (GWP) is a measure of how much a given mass of greenhouse gas is estimated to contribute to global warming. It is a relative scale which compares the gas in question to that of the same mass of carbon dioxide.*

84

Hormigón estructural ***f_c 20MPa***

	Para 1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energía kWh/m ³
Cemento CP I	280kg	1447	405	280
Arena	845kg	0	0	1
Piedra	1036kg	0	0	12
Agua	210kg	0	0	0
Acero	32kg	719	23	640
	315kg		226	6300
Encofrado 12 m ² /m ³ 6 reutilizaciones chapa de 1,4cm	0,0280 m ²	0	0	43
TOTAL			428	933
			631	6636

85

Hormigón estructural ***f_c 50MPa***

	Para 1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energía kWh/m ³
Cemento CP I	420kg	1447	607	419
Arena	801kg	0	0	3
Piedra	1010kg	0	0	12
Agua	160kg	0	0	0
Acero	32kg	719	23	640
	315kg		226	6300
Encofrado 12 m ² /m ³ 6 reutilizaciones chapa de 1,4cm	0,0280 m ²	0	0	43
TOTAL			630	1117
			833	6777

86

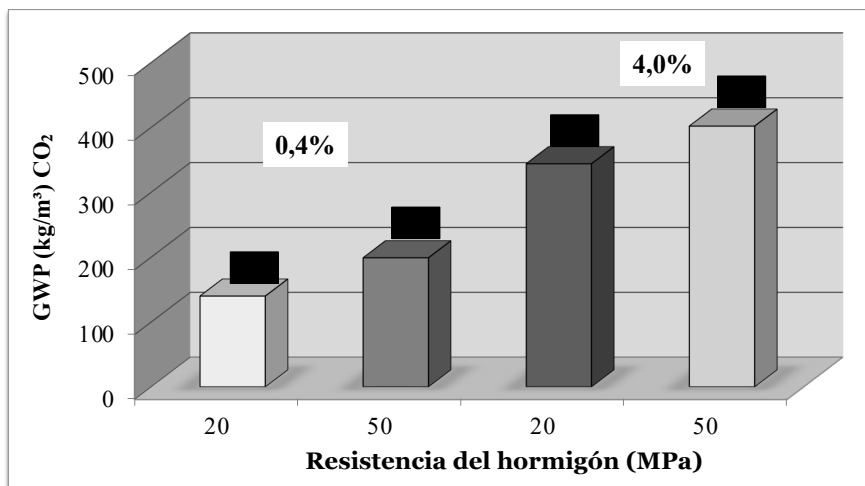
1 m³ de hormigón estructural

Material	Tipo	f_c	GWP	Energía
		MPa	kg/m ³	kWh/m ³
hormigón Reforzado	CP III	20	140 / 344	777 / 6437
hormigón Reforzado	CP III	50	199 / 402	820 / 6480

0,4% & 4% de
taxa de armadura

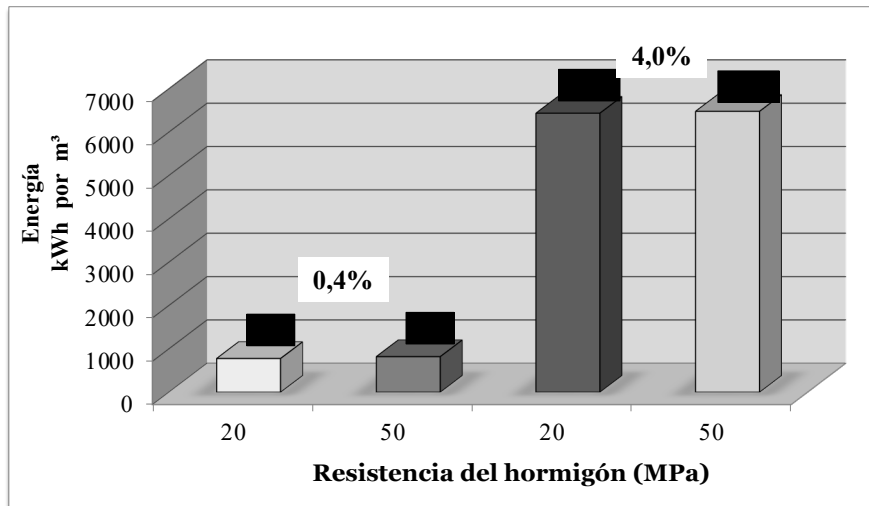
87

1 m³ de hormigón estructural cemento con 50% escoria



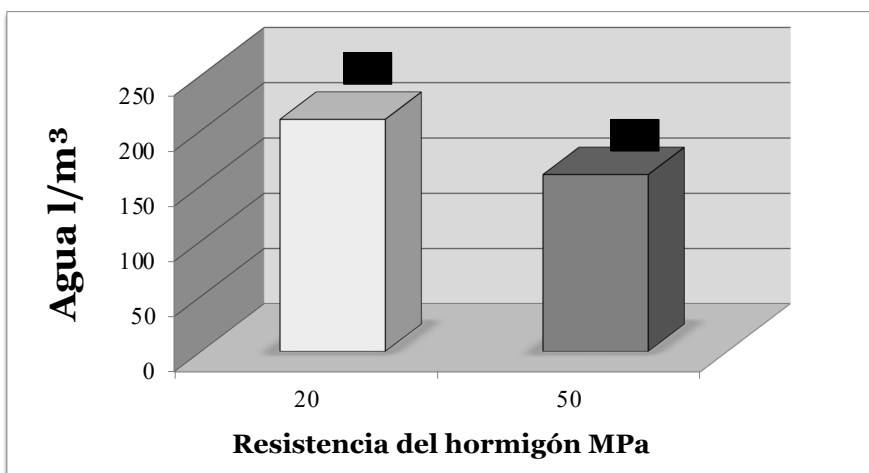
88

1 m³ de hormigón estructural



89

1 m³ de hormigón estructural



90

**Columna con 3m
0,4% refuerzo, 500tf**

Material	f_c	sección	energía	GWP
	MPa	cm	kWh	kg
hormigón Reforzado	20	72x72	1208	218
hormigón Reforzado	50	50x50	615	149

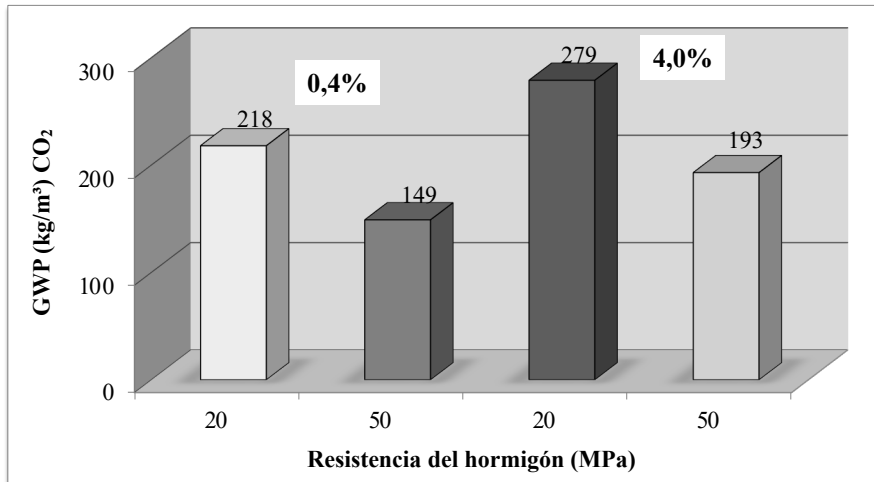
91

**Columna con 3m
4% Refuerzo, 500tf**

Material	f_c	sección	energía	GWP
	MPa	cm	kWh	kg
hormigón Reforzado	20	52x52	5221	279
hormigón Reforzado	50	40x40	3110	193

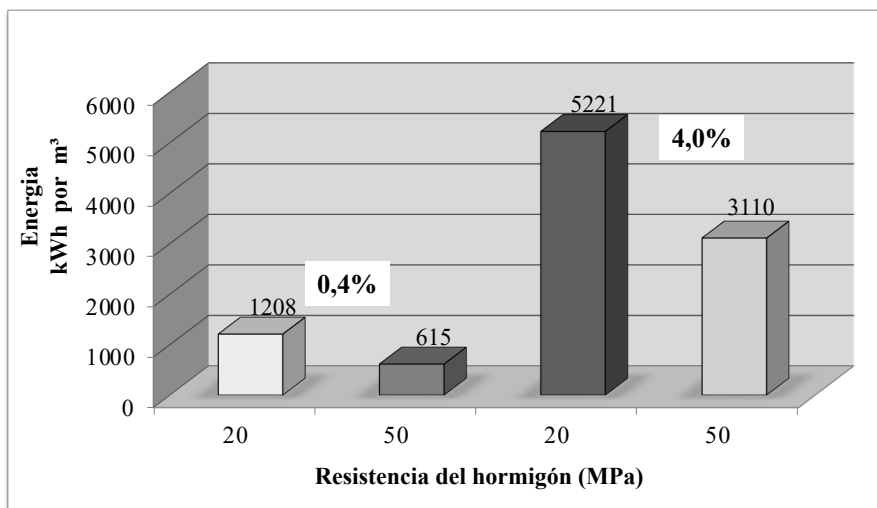
92

Columna con 3m de altura, sección cuadrada, 500tf



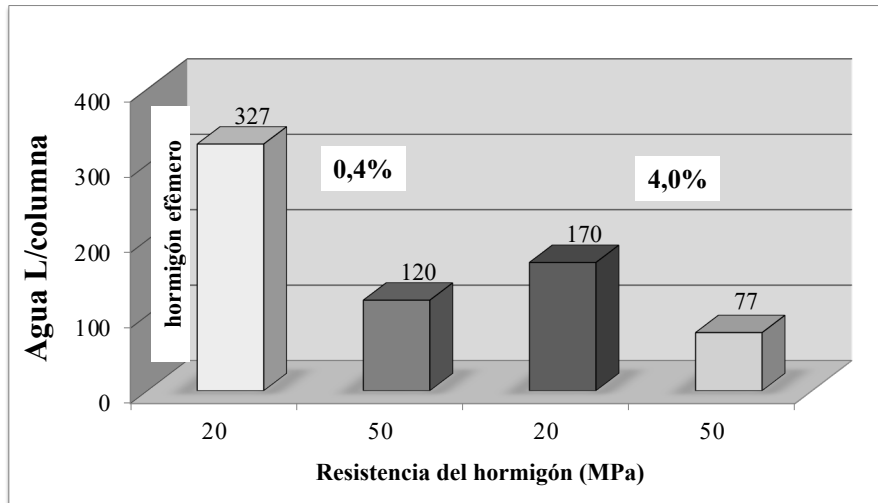
93

Columna con 3m de altura, sección cuadrada, 500tf



94

Columna con 3m de altura, sección cuadrada, 500tf



95

Investigación:

¿Cual es el Concreto Estructural más Sustentable?

$$f_c = 25\text{MPa (250kgf/cm}^2\text{)}$$

$$f_c = 30\text{MPa (300kgf/cm}^2\text{)}$$

$$f_c = 35\text{MPa (350 kgf/cm}^2\text{)}$$

96

Investigación: edificio en hormigón reforzado

- Planta baja;
- 8 pisos tipo;
- cobertura, escaleras y reservatorio superior

análisis comparativa:

- 25MPa;
- 30MPa, mantenidas las mismas dimensiones de las piezas estructurales de 25MPa;
- 35MPa, con reducción de las dimensiones de las piezas.

Área estructural obtenida fue de 2.078 m².

Por lo tanto la carga característica de 0.55 tf/m² (carga permanente + carga accidental).

97

Investigación: edificio en hormigón reforzado

25 MPa :

Cemento: 310 kg

Arena: 870 kg = 0,53 m³ arena / m³ hormigón

Grava: 930 kg = 0,52 m³ grava / m³ hormigón

Agua: 180 kg (o litros)

30 MPa :

Cemento: 340 kg

Arena: 770 kg = 0,47 m³ arena / m³ hormigón

Grava: 970 kg = 0,54 m³ grava / m³ hormigón

Agua: 180 kg (o litros)

35 MPa :

Cemento: 370 kg

Arena: 744 kg = 0,45 m³ arena / m³ hormigón

Grava: 960 kg = 0,53 m³ grava / m³ hormigón

Agua: 180 kg (o litros)

98

Investigación: edificio en hormigón reforzado Cantidad de materiales

Para 25MPa :

hormigón	encofrado	acero
471 m ³	4596 m ²	41619 kg
0,23 m ³ /m ²	2,20 m ² /m ²	20,0 kg/m ²
		88,0 kg/m ³

Para 30MPa :

hormigón	encofrado	acero
471 m ³	4596 m ²	40130 kg
0,23 m ³ /m ²	2,20 m ² /m ²	19,3 kg/m ²
		85,1 kg/m ³

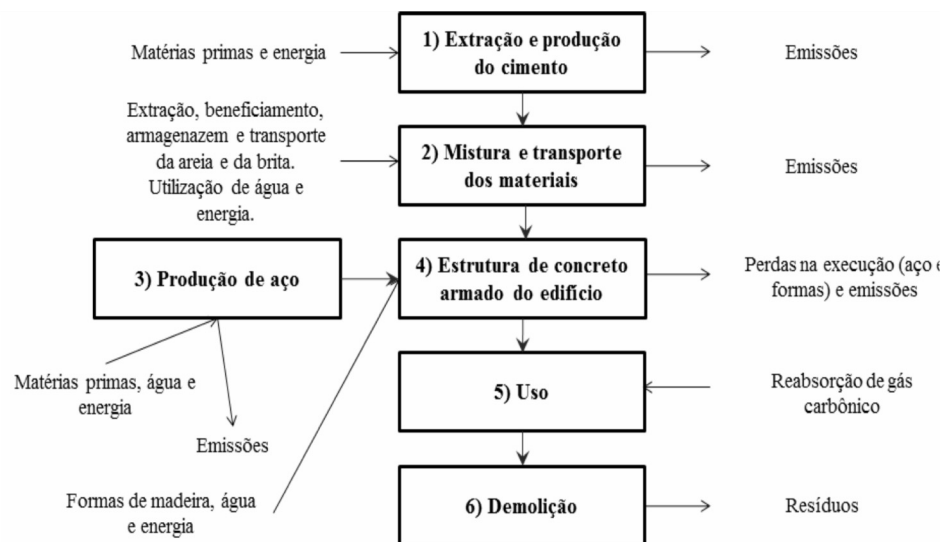
Para 35MPa :

hormigón	encofrado	acero
401 m ³	4464 m ²	39596 kg
0,19 m ³ /m ²	2,10 m ² /m ²	19,1 kg/m ²
		98,7 kg/m ³

99

Investigación: edificio de hormigón armado

Diagrama del flujo de producto → ... desde la cuna, hasta la tumba...



100

a guide to understanding
**the embodied impacts
of construction products**

construction
products association

RESEARCH REPORT R11-01, **Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle**, Department of Civil and Environmental Engineering, Concrete Sustainable Hub, Massachusetts Institute of Technology, august, 2011.

ILCD handbook – **International reference Life Cycle Data System; General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance**, Publications Office of the European Union, 2012, 394 p.

ISO 14025:2006

Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures

101

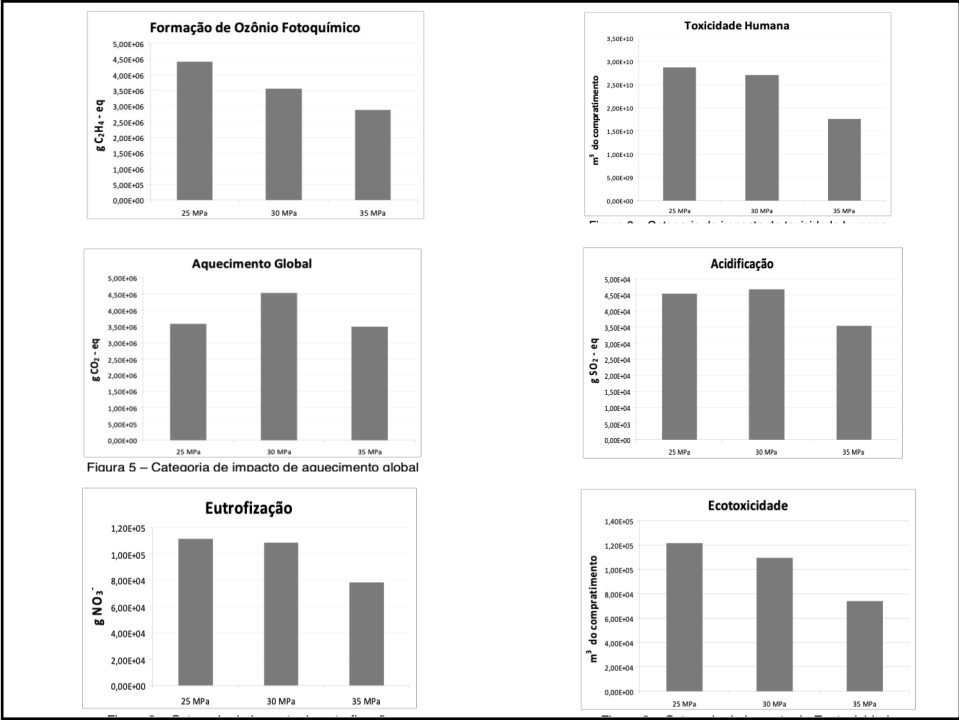
Investigación: edificio de hormigón armado

Indicadores de impacto ambiental

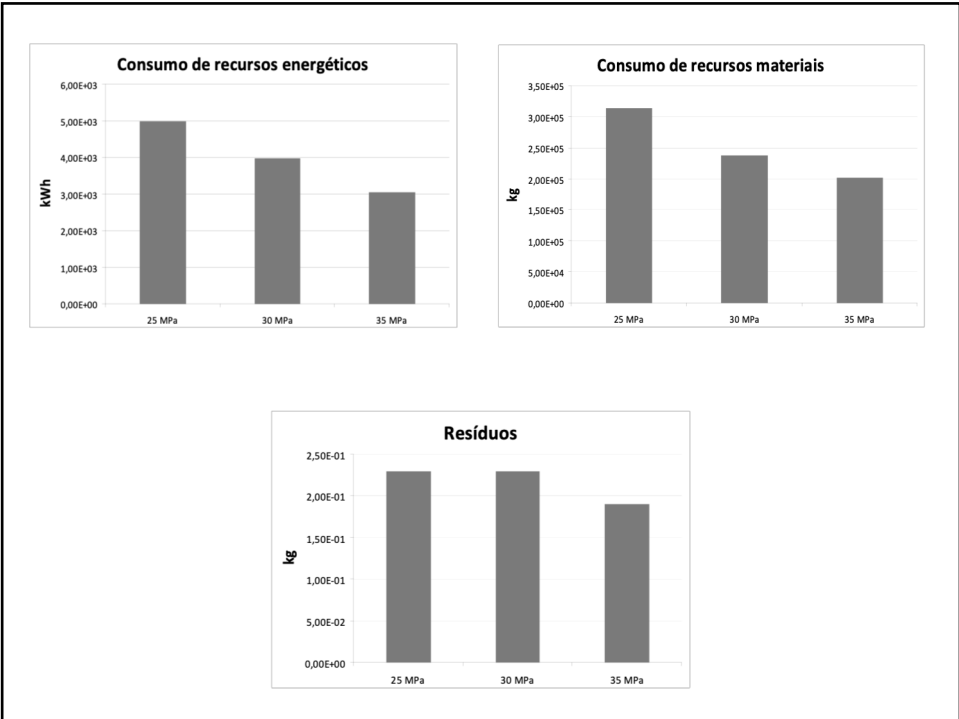
	25 MPa	30 MPa	35 MPa
Eutrofización	Mayor	Medio	Menor
Formación de ozono fotoquímico	Mayor	Medio	Menor
Consumo de recursos Materiales	Mayor	Medio	Menor
Consumo de recursos energéticos	Mayor	Medio	Menor
Ecotoxicidad	Mayor	Medio	Menor
Calentamiento Global	Medio	Maior	Menor
Toxicidad humana	Maior	Medio	Menor
Acidificación	Medio	Maior	Menor
Residuos	Medio	Maior	Menor

Ricardo BENTO, doutorado IAU.USP.

102



103



104

Investigación: edificio en Hormigón Reforzado

Este es una investigación del Ing. Ricardo Bento y es parte de su tesis de Doctorado que todavía está en curso (andamio / progreso)

“Mismo que no esté totalmente concluida ya es posible afirmar que hubo una ventaja clara en substituir hormigón de 20MPa por hormigón de 35MPa en un edificio de clase mediana baja con apenas 8 pisos.”

“Los estudios en progreso van analizar otras situaciones, casas y edificios altos (>25 pisos) para comprobar que se puede generalizar estas conclusiones parciales pero muy promisoras y a favor del desarrollo de los hormigón de altas prestaciones (alto desempeño)”

105

Investigación: edificio en Hormigón Reforzado

Conclusión:

Para todas las categorías de impacto la estructura de f_c 35MPa es ambientalmente la mejor, la que causa los mínimos impactos al medio ambiente

Ricardo BENTO, doutorado IAU.USP.

106

Estas herramientas claramente establecidas en la serie ISO14025 ambiental permiten la creación de una declaración de tipo III, o permitir que una calificación objetiva de los productos y los servicios para la construcción civil.

De este modo, se crea una transparencia de los productos en relación con sus impactos ambientales.

107

La revolución que está en marcha a partir de estos conceptos, hace uso de una metodología estandarizada para la recolección de datos, evaluación de impacto ambiental, el acceso a la información homogeneizada y la revisión continua del comportamiento ambiental de los productos y servicios.



108



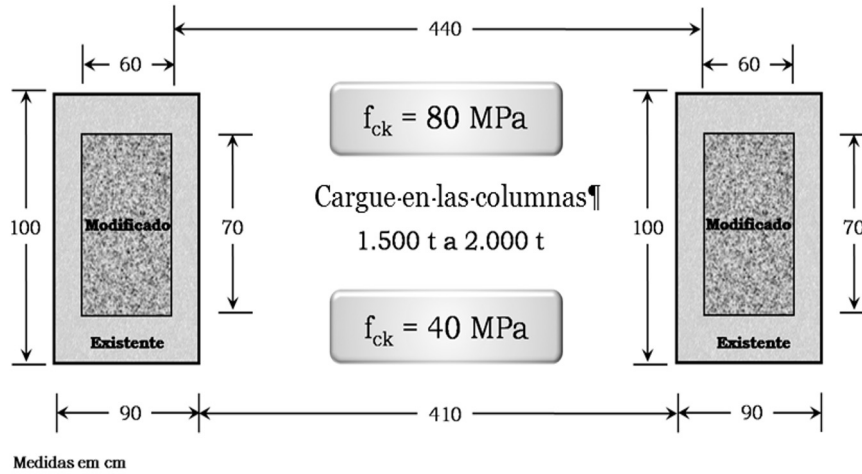
109

e-Tower

- Edificio e-Tower SP
- 42 pisos
- Helipuerto
- Piscina semi-olímpica
- Academia de gimnasia
- 2 restaurantes
- hormigón coloreado
- f_c columnas = 80MPa

110

Proyecto estructural (e-Tower)



111



112

Control



113



114

Economía de Recursos Naturales

Original:

$$f_c = 40\text{MPa}$$

$$\text{sección transversal} \rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm} \\ = 0,90\text{m}^2$$

HPC / HSC:

$$f_c = 80\text{MPa}$$

$$\text{sección transversal} \rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm} \\ = 0,42\text{m}^2$$

115

Sustentabilidad



- **70% menos arena**
- **70% menos grava**
- **53% menos hormigón**
- **53% menos agua**
- **20% menos cemento**
- **31% menos area de molde**

116

Sustentabilidad



- **25% mas de reaprovechamiento del molde**
- **43% menos acero**
- **16 coches a mas**
- **10x vida útil más grande**
- **100% desforma más rápida**

117

Puntos Importantes

Concepto de rendimiento:

Considerando apenas el contenido de cemento:

hormigón 120MPa → 4,0kg/MPa
→ 1,2kg Clinker / MPa

hormigón de 40MPa → 6,7 kg/MPa
→ 2,1kg Clinker / MPa

hormigón de 20MPa → 11,5 kg/MPa
→ 3,5kg Clinker / MPa

118

**HORMIGÓN RESPONSABLE, SOSTENIBLE, BONITO Y
CONTEMPORÁNEO, ES:**

- más resistente
- más durable
- más humano (< ruido y < esfuerzo físico)
- consumir menos recursos materiales no renovables
- consumir menos agua
- consumir menos energía
- producir menos residuos y basura

119

**Como ser un Arquitecto o
Ingeniero mejor y actual ?**

1. reducir emisión de gases estufa
2. reducir energía consumida
3. reducir consumo de recursos naturales no renovables
- 4. usar racionalmente el
hormigón (hacer más con
menos)**
5. Cambiar el “modo de vivir de algunos”

120

Algunas Reflexiones

121

Petronas Towers ***Cesar Pelli***



Kuala Lumpur

Malasia 1.997

452m

$f_c = 800 \text{ kgf/cm}^2$

before / after

122

Hoy hay 45 edificios en construcción con altura superior a 300m, con inauguración prevista para 2016...

123

De ese total de 44
“rasca cielos”:

- 15 son en hormigón
- 28 son mistos hormigón / acero
- solamente 1 es metálico

124

Incluso el más alto
edificio del mundo, el
Burj Khalifa, en Dubái,
con 820m, ha sido
construido con
hormigón

125

Burj Dubai - World tallest (2008)



126

El Futuro edificio más alto del mundo



KINGDOM TOWER

1km de Altura

Jeddah, Arábia Saudita

Los cálculos predicen que la Kingdom Tower va a consumir un mínimo de 500 mil m³ de hormigón

127

Sustentabilidad combina el género,
número y grado con

Racionalización

Concreto Prefabricado

Industrialización

128



129



130



131



132