



Concreto, Durabilidad y Sostenibilidad



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

Diretor PhD Engenharia

Prof. Titular Universidade de São Paulo USP

Consejero Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

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

Presidente ALCONPAT

Gran Museo del Mundo Maya

19 de febrero de 2014

Mérida, Yucatán

1

Sostenibilidad

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

Ambiental – Social - Economico

PhD Engenharia

2

Normas Recientes

- ✓ ACI Committee 130. Sustainability of Concrete
- ✓ U.S. Green Concrete Council. Sustainable Concrete Guide. Strategies and Examples. Applications
- ✓ ISO TC 59/SC 17. Sustainability in Building and Civil Engineering Works
- ✓ *ISO 21929-2: Sustainability Indicators (energy, materials, water and land)*
- ✓ ISO TC 207. Environmental Management
- ✓ EN 15804:2012 - Core rules for the product category

3

Normas Recientes

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

“reducir el volumen y reducir el CO₂”

“concreto es un material regional, y como tal debe ser tratado”

ISO TC 71/SC 8. 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

4

Novidades do “ACI Concrete Sustainability Forum VI”. Phoenix, Arizona, Outubro 2013

1. ACI 318 recentemente está introduzindo critérios de projeto para sustentabilidade. Considera primordial: segurança; desempenho e durabilidade antes de sustentabilidade;
2. Aperfeiçoamento dos métodos de dosagem com misturas bem compactas a partir de distribuições granulométricas;
3. Uso de agregados reciclados, aditivos redutores de água e adição de sílica e metacaulimHP;
4. Introdução de cimento com 15% calcário moído - ASTM C 595 e CSA A3000;

5

Novidades do “ACI Concrete Sustainability Forum VI”. Phoenix, Arizona, Outubro 2013

5. Reativar os conceitos holísticos de sustentabilidade que incluem ambiente (CO₂, matérias primas e energia), crescimento econômico, economia e aspectos sociais (saúde, conforto, mobilidade);
6. Projetar e construir estruturas de alto desempenho;
7. Projetar e construir infra-estrutura robusta e resiliente;
8. Desenvolver a industrialização.

6

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

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

7

Redefining High-Performance Concrete Structures

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

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

8

EPD

Enviromental Product Declaration

ISO 14025:2010

Carlton Plaza Hotel

11 de maio de 2012

Limeira SP

9

ENVIROMENTAL PRODUCT DECLARATIONS



10

¿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

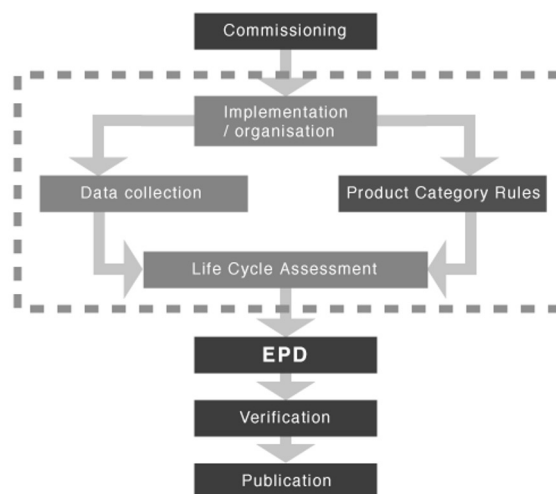
El objetivo del sistema EPD es apoyar la oferta y demanda de productos y servicios de construcción que causan un menor impacto al medio ambiente, a través de la difusión de los procesos de producción de datos precisos y verificables y el desempeño ambiental.

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



11

¿Cómo es elaborado un EPD?



www.greenspec.co.uk

12

Por lo tanto, para informar de la declaración, usted debe:

- ✓ **Pesquisar als PCRs disponibles (*Product Core Rules*), con directrices específicas del producto en análisis (ex: concreto); si no hay, crear la PCR según la *ISO 14025:2010***
- ✓ **Recopilar los datos necesarios y llevar a cabo estudios y análisis de LCA (*Life Cycle Assessment*)**
- ✓ **Solicitar la verificación de la declaración de un auditor del Programa EPD**

13

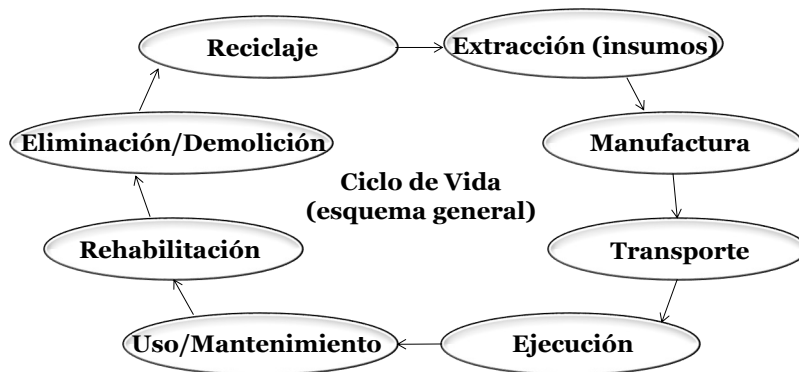
Con eso EPD puede validar e inscrita en un programa de certificación (ex: *International EPD System*)

Estará disponible para la inspección pública y tiene una validez de 5 años!

14

LCA (Life Cycle Assessment)

Esta revisión se hará de acuerdo con la PCR específica del producto, el cual indicará los requisitos y etapas de vida mínimas para ser analizados



15

LCA (Life Cycle Assessment)

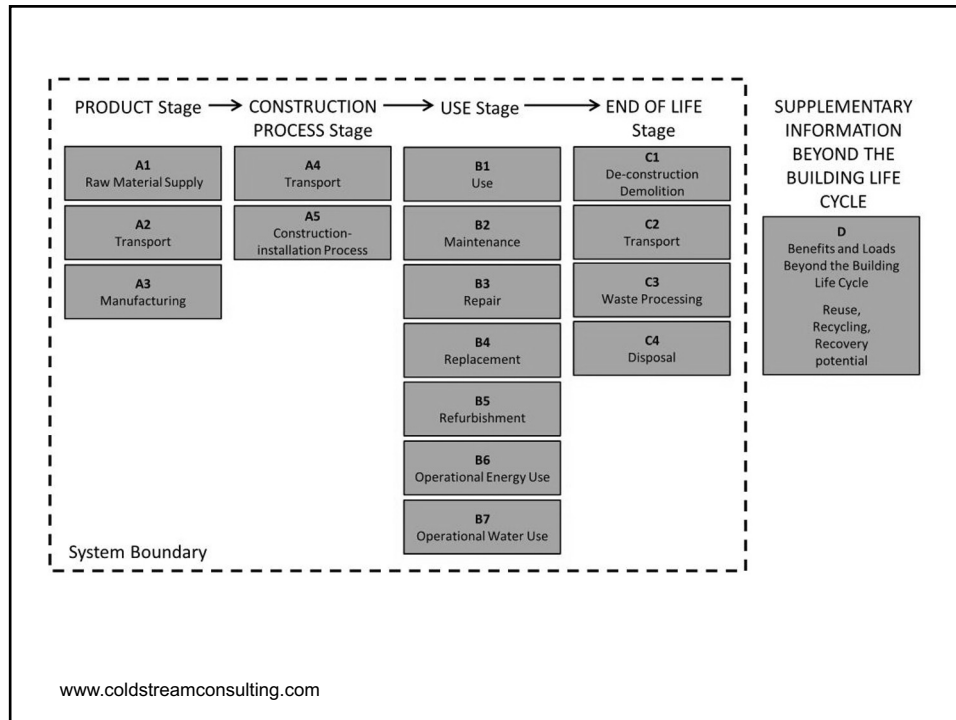
Considerando que las medidas generales mencionadas anteriormente, la EN 15804:2012 establece un número mínimo de módulos de la vida útil para ser citado en el EPD, dependiendo del tipo de producto y el detalle requerido

-EPD1 (Cradle to Gate)

-EP2 (Cradle to Gate with Options)

-EPD3 (Cradle to Grave)

16



17

El futuro indica lo LCA, LCIA y LCI

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

"LA CUNA A LA TUMBA"

Indicadores de evaluación de impacto

- Potencial de calentamiento global, en kg de CO_{2,eq},
- Potencial de agotamiento del ozono estratosférico: en kg de CFC11_{eq}
- Potencial de acidificación, en kg de SO_{2,eq}
- Potencial de eutrofización, en kg de PO₄^{3-,eq}
- Potencial de agotamiento de recursos abióticos, en kg de Sb_{eq}
- Potencial de formación de ozono fotoquímico, en kg de etano

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

18

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

19

Que es LEED?

(Leadership in Energy and Environmental Design)

Certificación para edificios sostenibles creados y concedidos por la ONG norte-americana *U.S. Green Building Council (USGBC)*, en Brasil esta certificación es hecha por el Green Building Council Brasil.



20

LEED

El objetivo del sistema es reducir la huella de carbono del "entorno construido" y crear un sistema competitivo para la eficiencia de los edificios al premiar las mejores prácticas de diseño, construcción y mantenimiento y la creación de un mercado de productos sostenibles para el sector de la construcción.

La última versión del LEED también incluye los créditos regionales que permiten tropicalización o adecuación del sistema, o en cualquier lugar en el clima mundial.

Y para ser una certificación de sistema documentado en línea, sino que también permite el crecimiento y la adopción internacional de LEED, la creación de un estándar mundial de facto para los edificios sostenibles.

Se aplica a la nueva construcción de edificios comerciales o residenciales, plantas industriales, edificios escolares, edificios existentes, centrándose en el diseño y la construcción, diseño de interiores, operación y mantenimiento (uso).

21

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 EUA) para medir el desempeño ambiental de diseño, construcción y mantenimiento de edificios.

El sistema se utiliza para comparar el rendimiento ambiental de un edificio y otro 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	→ 80-110 créditos

22



Concrete Thinking
for a sustainable world



Portland Cement Association

SOLUTIONSAPPLICATIONSRESOURCESCASE STUDIESTHINKERS

Benefits > LEED

Green Building Rating System

PrintEmail

applications

Cast in Place
Controlled Density Fill
Decorative flatwork
Fiber cement siding
Green Roofs
Hardscape & Pavers
ICF (Insulating Concrete Forms)
Masonry
Paving
Pervious Paving
Precast
Radiant Floors
Soil Stabilization/Solidification
Tilt-Up Construction
Water Infrastructure
Whole Building Design

solutions

Building Reuse
Energy Performance
Heat Island Reduction
Locally Produced
Minimize Site Disruption
Recycled Content
Stormwater Management
Thermal Mass

case studies

hide detail

What is LEED?

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) is a rating system devised by the United States Green Building Council (USGBC) to evaluate the environmental performance of a building and encourage market transformation towards sustainable design. The system is credit-based, allowing projects to earn points for environmentally friendly actions taken during construction and use of a building. LEED was launched in an effort to develop a "consensus-based, market-driven rating system to accelerate the development and implementation of green building practices." The program is not rigidly structured; not every project must meet identical requirements to qualify.

These LEED products are currently available:

- LEED - v3.0 for New Construction and Major Renovations
- LEED - for Homes
- LEED - for Core and Shell
- LEED - for Existing Buildings: Operations and Maintenance
- LEED - for Commercial Interiors
- LEED - for Schools
- LEED - for Retail
- LEED - for Healthcare
- LEED - for Neighborhood Development (in pilot stage)

Detailed information on the LEED program and project certification process is available from USGBC at <http://www.usgbc.org/>. The program outlines the intent, requirements, technologies, and strategies for meeting each credit. Credits are broken down into individual points. A building requires at least 40 points for certification in LEED-NC v3.0. Silver, gold, and platinum levels are also available.

LEED Certification Levels

- Certified 40 - 49 Points
- Silver 50 - 59 Points
- Gold 60 - 79 Points
- Platinum 80-110 Points

23

Green Building Design & Construction (BD&C)					
Category	PREVIOUS LEED-NC v.2.2		NEW 2009 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	

24

Como el Concreto puede Contribuir?

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% (dois 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% e dos puntos para 20%)

25

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Brasil:



f_{ck} de proyecto: 50MPA

Utilización de pretensado para reducir las dimensiones de la estructura.

Ventura Corporate Towers
Rio de Janeiro/RJ

26

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Brasil:



f_{ck} de proyecto: 50MPa

Eldorado Business Tower
São Paulo/SP
PLATINUM

27

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

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

28

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Algunos
emprendimientos con
certificación LEED en
Mexico:

	Nombre del Proyecto	Ubicación	Rating System	Versión	Nivel de certificación
1	0214 Cuauhtemoc	Ciudad Cuauhtemoc	Existing Buildings	v2009	Certified
2	7-Eleven UDEM	San Pedro Garza	Retail - New Construction	v2009	Gold
3	Project Oriole	Santa Catarina	New Construction	v2009	Gold
4	Spelman de Mexico at FINSA Oriente	Matamoros	New Construction	v2009	Silver
5	3047 HSBG San Jose de Iturbide	San Jose de Iturbide	Existing Buildings	v2009	Silver
6	0139 San Quintin	San Quintin	Existing Buildings	v2009	Certified
7	0313 HSBG Finanzas	Puebla	Existing Buildings	v2009	Silver
8	0838 HSBG Zacapoaxtla	Zacapoaxtla	Existing Buildings	v2009	Silver
9	ABILIA	Mexico Distrito Federal	Commercial Interiors	v2009	Silver
10	0560 HSBG Gloria Colon	Toluca	Existing Buildings	v2009	Silver
11	0371 HSBG San Juan del Rio	San Juan del Rio	Existing Buildings	v2009	Silver
12	0094 HSBG Zona Industrial	Toluca	Existing Buildings	v2009	Silver
13	CorporoF2	Distrito Federal	Commercial Interiors	v2009	Silver
14	0013 HSBG Tlalpan	Mexico City	Existing Buildings	v2009	Silver
15	1924 HSBG Pedro Escobedo	Pedro Escobedo	Existing Buildings	v2009	Certified
16	Nave 6 Tres Rios	Mexico	Core and Shell	v2009	Silver
17	ZARA MADERO	Mexico	Retail - Commercial Interiors	v2009	Gold
18	Edificio Administrativo Nestle Queretaro	Queretaro	New Construction	v2009	Gold
19	EDIFICIO DE ARQUITECTURA ITESM-ORO	QUERETARO	New Construction	v2009	Platinum
20	JCM Queretaro Facility	QUERETARO	New Construction	v2009	Gold
21	0015 HSBG Navarte	Mexico	Existing Buildings	v2009	Silver
22	Vesta Bombardier LBS-1	Colon	New Construction	v2009	Certified
23	Torre Mayor	Mexico City	Existing Buildings	v2009	Gold
24	Centro Int'l de Expos y Convenciones	Mexico DF	Existing Buildings	v2009	Gold
25	11-049-105-CPASANMO-8009	Cuauhtlan Itz'atli	Core and Shell	v2009	Certified
26	CHAC M16	Mexico City	New Construction	v2009	Platinum
27	Grupo San Pablo Corporate Offices	Mexico City	Commercial Interiors	v2009	Silver
28	CityExpress Puebla	Puebla	Existing Buildings	v2008	Silver
29	Starbucks Chapultepec Reforma	Mexico City	Retail - Commercial Interiors	v1.0 pilot	Silver
30	Vensi	Distrito Federal	Commercial Interiors	v2009	Silver
31	11-002-393-GTP-8019		Core and Shell	v2009	Certified
32	Las Musas		New Construction	v2009	Silver
33	Arquillo UNARTE	Puebla	New Construction	v2009	Platinum
34	HSBG Patriotismo	Mexico City	Existing Buildings	v2009	Gold
35	Coca-Cola Mexico	Mexico City	Existing Buildings	v2008	Gold
36	SPACE MEXICO	Mexico	Commercial Interiors	v2.0	Gold
37	CENTRO CENTREX LOREAL	Mexico City	New Construction	v2.2	Gold
38	Nestle Block Social Chiapa De Corzo	Chiapa De Corzo	New Construction	v2009	Platinum
39	Construction Company SECA Main Office	Tijuana, B. C.	Commercial Interiors	v2009	Gold
40	Tres Rios-S	Cuauhtlan Itz'atli	Core and Shell	v2009	Certified
41	VIA CORPORATIVO	TIJUANA	New Construction	v2.1	Gold
42	Corporativo Terracota Cien	Mexico City	Core and Shell	v2.0	Platinum
43	Lexmark LCCP Building	Cd. Juarez	New Construction	v2.2	Gold
44	IEWC Mexico	Apoadaca	Commercial Interiors	v2009	Certified

29

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Algunos emprendimientos con certificación LEED
en Mexico:



ZARA Madero
Mexico
Gold

30

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Algunos emprendimientos con certificación LEED en Mexico:



Razones del Gold:

- ✓ Uso racional del agua
- ✓ Desarrollo de la tierra
- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Cuidado ambiental con los residuos
- ✓ Energía verde
- ✓ Materiales sostenibles (regionales y reusables)
- ✓ Conforto térmico

31

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

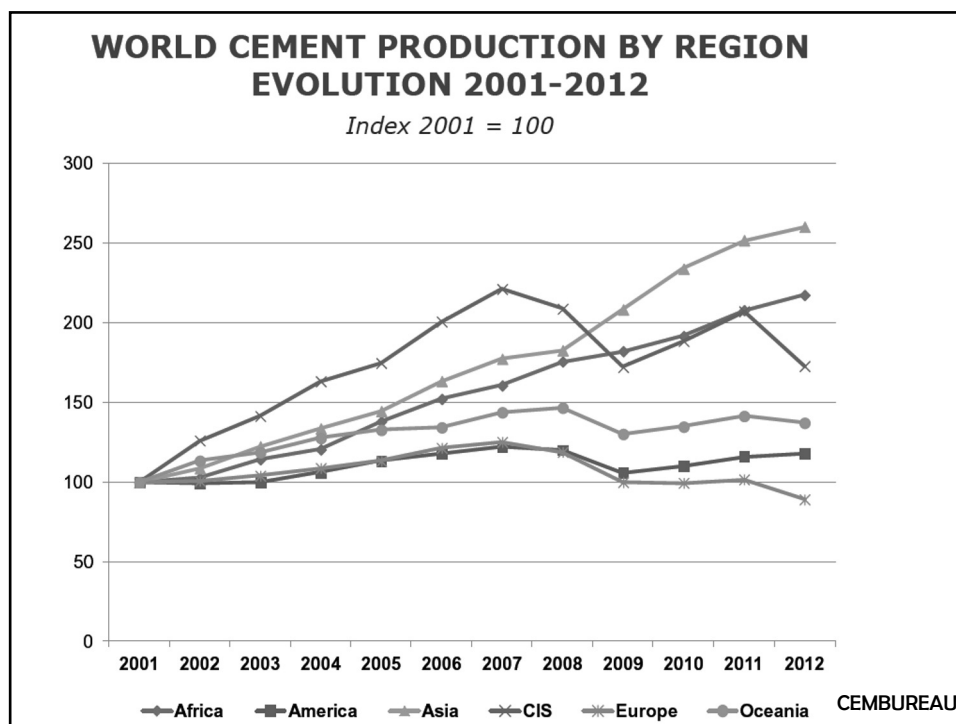
Porque esos Programas controlan mucho el edificio en USO y no dan mucha importancia a los Materiales y Estructura ?

32

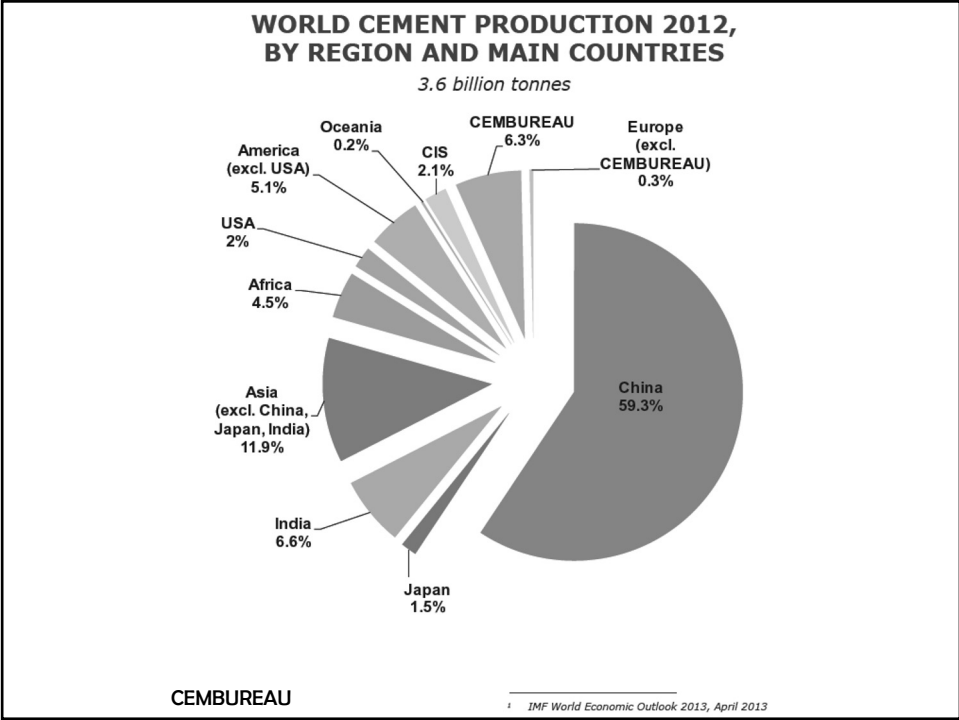
Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

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

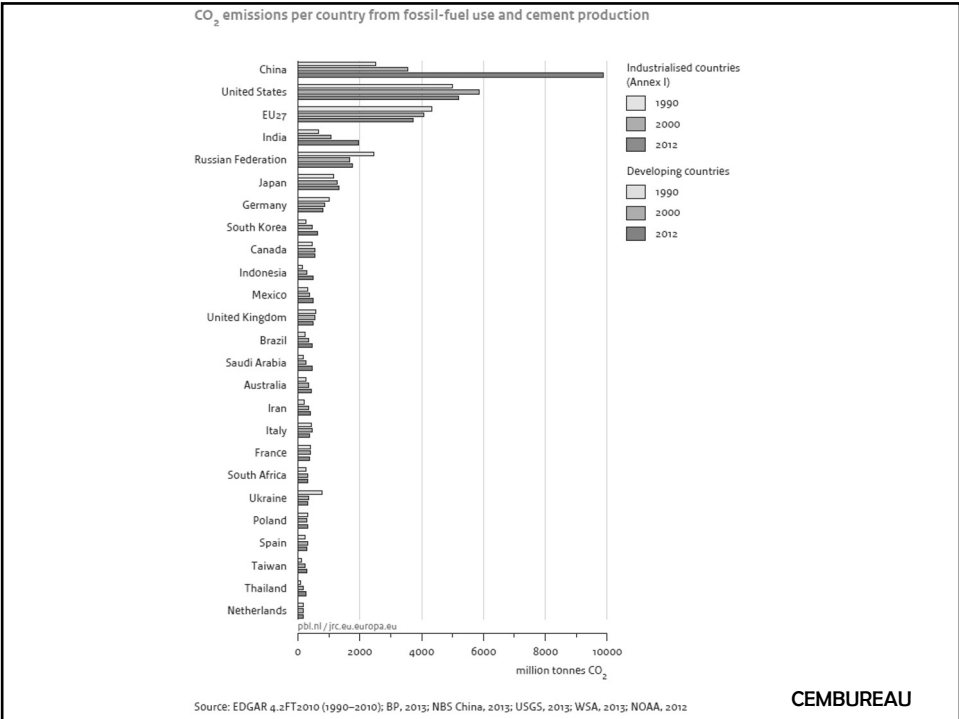
33



34



35

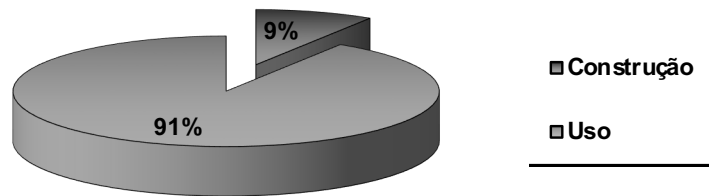


36

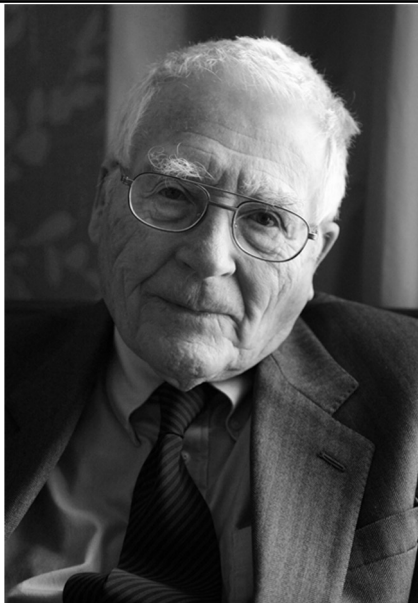
Edificación - Emisiones de GWP

Considerando una vida útil de 50 años para una habitación de clase mediana →

Visión holística: operación y uso



37



James Ephraim Lovelock (1919)

Lovelock es un investigador independiente y ambientalista que vive en Cornwall en el oeste de Inglaterra.

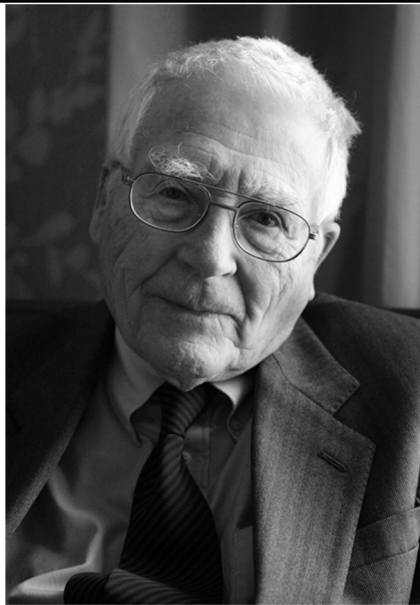
La hipótesis de Gaia fue sugerido por Lovelock, para explicar el comportamiento sistémico del planeta Tierra. La tierra se ve, en esta teoría, como un superorganismo.

Lovelock inventó muchos instrumentos científicos utilizados por la NASA para el análisis de las atmósferas extraterrestres y la superficie de los planetas.

En 1958 inventó el detector de captura de electrones, lo que ayudó a los descubrimientos sobre la persistencia de los CFC y su papel en el agotamiento de la capa de ozono.

En 2004 Lovelock sorprendió ambientalistas al afirmar que "sólo la energía nuclear puede detener el calentamiento global."

38



James Ephraim Lovelock (1919)

Considerado uno de los padres de la teoría del calentamiento global, ahora volver atrás y lamentar considerando que fue un error y actuó de una manera alarmista.

En otras palabras, el CO₂ no es más bandido y la Revolución Industrial no destruirá a la humanidad...

39

El noble concepto de sostenibilidad es hermoso, se ha practicado en las estructuras de concreto y puede hacerlo aún mejor!

40

Sostenibilidad

“... es el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer las de las futuras...”

Ambiental – Social - Económico

41

**Como caminar em
dirección a la
SOSTENIBILIDAD
en las estructuras de
concreto?**

42

Alternativas

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

43

La INICIATIVA DE SOSTENIBILIDAD del CEMENTO (WBCSD – CSI)



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

- 1999
- 10 grupos internacionales
- En Brasil: Votorantim

44

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:



45

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

46

COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

De acuerdo con lo WBCSD – CSI, no estudio
“Getting the Numbers Right” (GNR):

“Brazil is the leader in the use of biomass as substitute fuel, with 12% of total thermal energy generated. Adding 9% fossil waste, Brazil also replaces more than one fifth of fossil fuels with alternative fuels”.

47

Concretos: Un futuro Sostenible

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

48

Áridos reciclados



- Reciclados de base cimentícia (concreto y morteros)
- Reciclados de base cerâmicas (pisos, albanileria)
- Substitución de 20% a 50% del árido miúdo e graúdo sin afectar resistência y durabilidad

49

**Durability of Recycled Aggregates
Concrete: A Safe Way to Sustainable
Development
2004
Cement and Concrete Research 334(11)
p. 1975-80**

***citado por 147 artículos
Google Scholar***

50

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

3. Empleando concreto auto-compactable de elevado desempeño SCC

51



52

estudio comparativo



53

concreto auto-compactable



concreto vibrado

54

10 X productividad

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

n° de obreros: 5 (cinco)

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

0,870 hombres-hora / m³ de concreto

CAA: vaciado y acabado: 1,2min

n° de obreros: três (3)

concreto (1) e acabado (2)

0,081 h.h/ m³ de concreto

55



56

SCC

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

57

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro
Sostenible

4. Empleando concreto de elevada vida útil

58

Carbonatación

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

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

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

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

59



60

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro
Sostenible

5. Empleando concreto de alta resistência HSC

63

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro
Sostenible

- CO₂?
- Energia?
- Recursos naturales?
- Ciclo Vital?

64

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Columna para 500t

$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

$$f_{ck} = 50\text{ MPa}$$

65

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

Fuerza normal característica = 500 tf

f_{ck} (MPa)	taxa de refuerzo (%) → total do pilar	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

66

Concretos: Un futuro Sostenible

$$\mathbf{f_{ck} = 20MPa}$$

Cemento = 280 kg/m³

Arena = 845 kg/m³

Grava = 1036 kg/m³

Agua = 210 kg/m³

67

Concretos: Un futuro Sostenible

$$\mathbf{f_{ck} = 50MPa}$$

Cemento = 420 kg/m³

Arena = 801 kg/m³

Grava = 1010 kg/m³

Agua = 160 kg/m³

68

Trace Gas	GWP	Trace Gas	GWP
Carbon Dioxide	1	HFC-143a	3800
CCI 4	1300	HFC-152a	140
CFC- 11	3400	HFC-227ea	2900
CFC-113	4500	HFC-23	9800
CFC-116	>6200	HFC-236fa	6300
CFC-12	7100	HFC-245ca	560
CFC-I 14	7000	HFC-32	650
CFC-I 15	7000	HFC-41	150
Chloroform	4	HFC-43-IOmee	1,300
HCFC- 123	90	Methane	21
HCFC- 124	430	Methylenechloride	9
HCFC-141b	580	Nitrous Oxide	310
HCFC-142b	1600	Perfluorobutane	7000
HCFC-22	1600	Perfluorocyclobutane	8700
HFC- 125	2800	Perfluoroethane	9200
HFC-134	1,000	Sulphur hexafluoride	23900
HFC-134a	1300	Trifluoroiodomethane	<1
HFC-143	300		

69

Las emisiones gaseosas y el consumo de energía

Material	NOx (kg/t)	CO ₂ (kg/t)	GWP (kg/t)	Energía consumida (kWh/t)
Clinker Portland (≈ CP I)	1,85	855	1447 (880)	998
ferro gusa (minério)				
CA 50 & CA 60 (sucata)	4,43	1588 380	3006 719	5.060 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.*

70

Concreto estructural **f_{ck} 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 315kg	719	23	640
			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

71

Concreto estructural **f_{ck} 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
Pedra	1010kg	0	0	12
Agua	160kg	0	0	0
Acero	32kg 315kg	719	23	640
			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

72

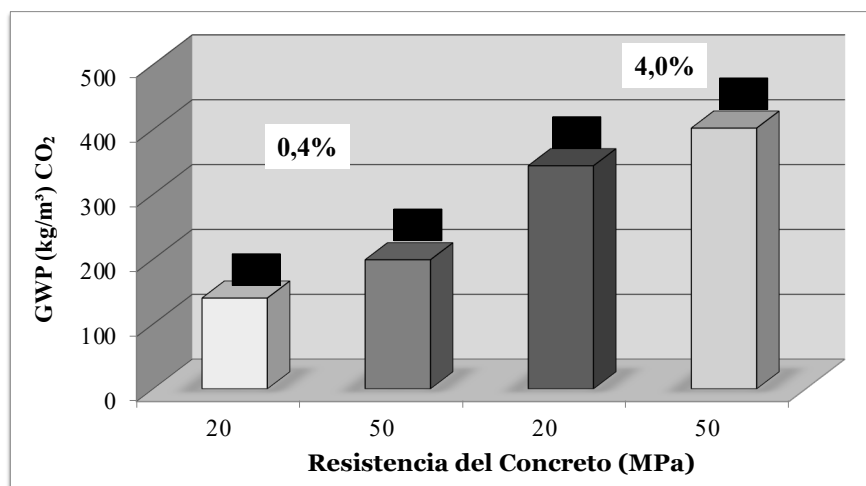
1 m³ de Concreto estructural

Material	Tipo	f_{ck}	GWP	Energía
		MPa	kg/m ³	kWh/m ³
concreto armado	CP I	20	428 / 631	933 / 6636
concreto armado	CP III	20	140 / 344	777 / 6437
concreto armado	CP I	50	630 / 833	1117 / 6777
concreto armado	CP III	50	199 / 402	820 / 6480

0,4% & 4% de
taxa de armadura

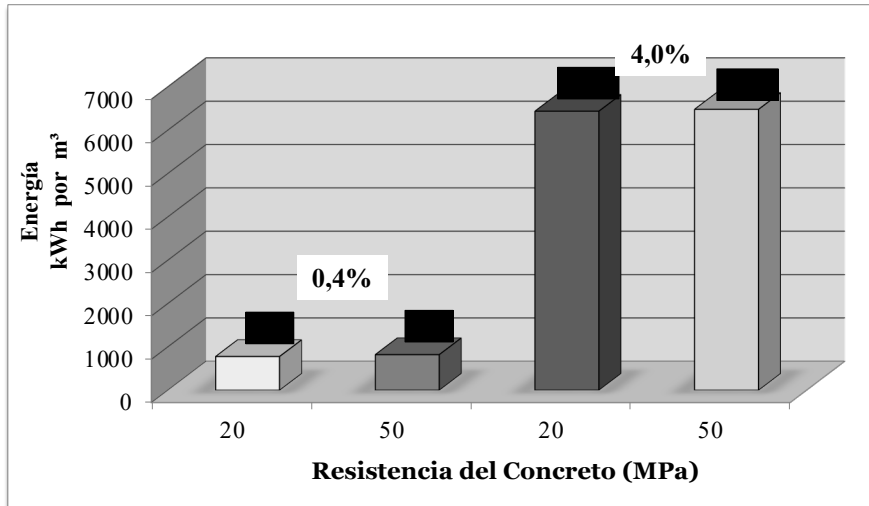
73

1 m³ de concreto estructural con 70% escoria



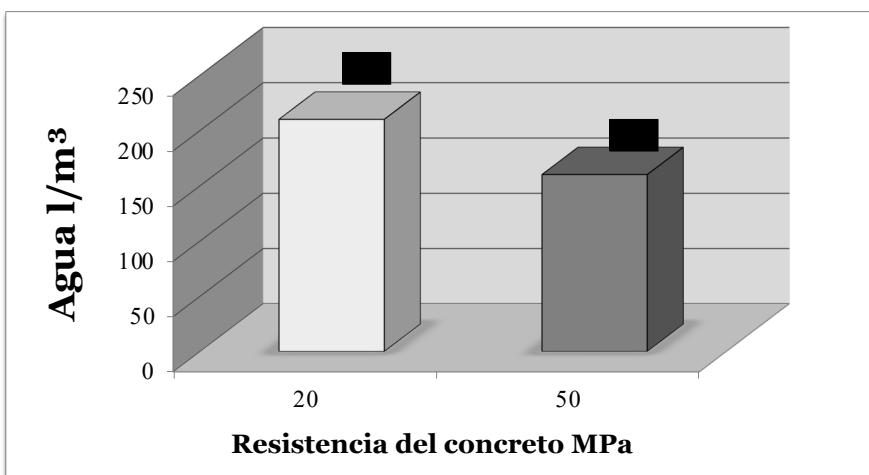
74

1 m³ de concreto estructural



75

1 m³ de concreto estructural



76

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

Material	f_{ck}	sección	energía	GWP
	MPa	cm	kWh	kg
concreto armado	20	72x72	1208	218
concreto armado	50	50x50	615	149

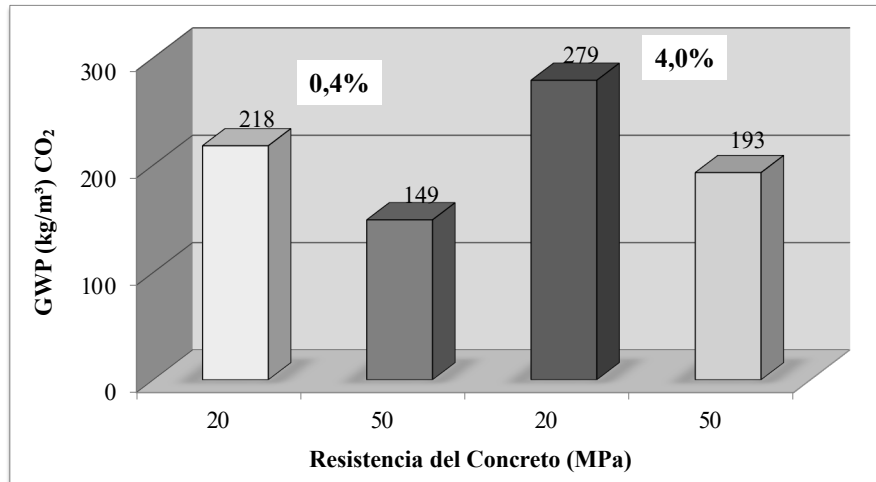
77

**Pilar con 3m
4% armadura, 500tf**

Material	f_{ck}	sección	energía	GWP
	MPa	cm	kWh	kg
concreto armado	20	52x52	5221	279
concreto armado	50	40x40	3110	193

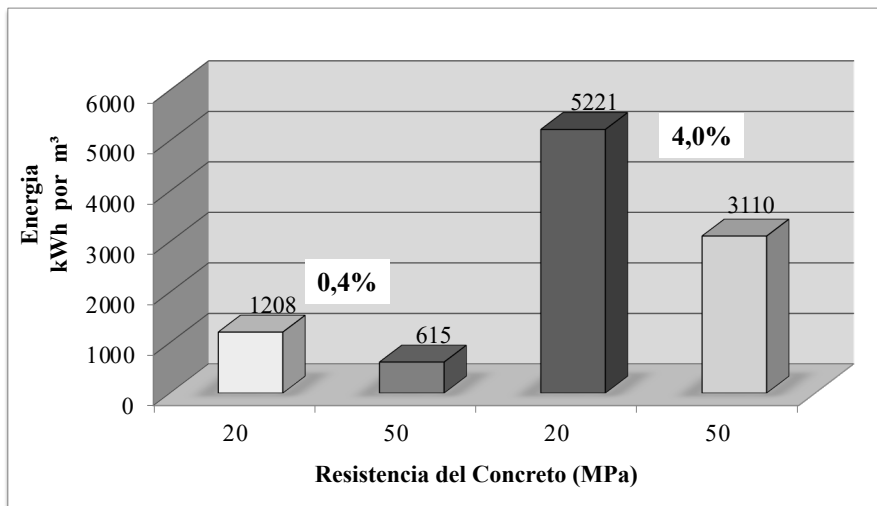
78

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



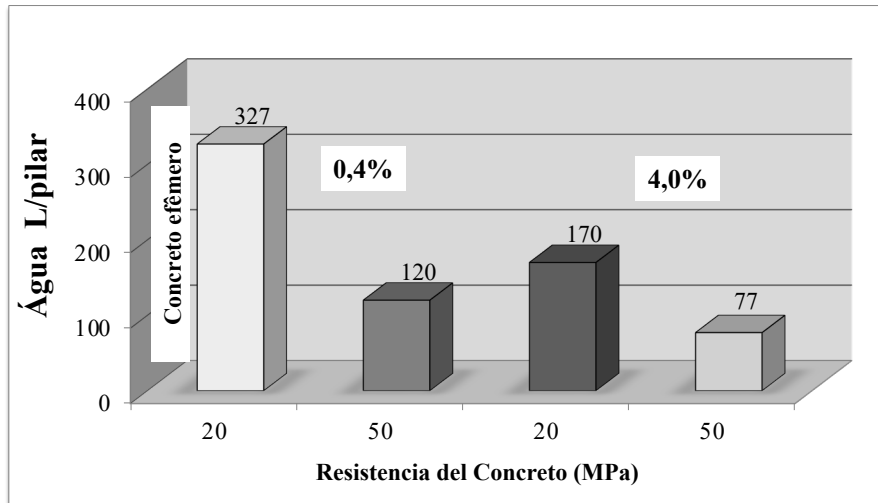
79

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



80

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



81

Concretos de Alto Desempeño: Un futuro Sostenible

Investigación:

¿Cual es el Concreto Estructural más Sostenible?

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

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

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

82

El futuro apunta al LCA, LCIA and LCI

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

de la “cuna a la tumba”

Indicadores de evaluación del impacto

- Potencial de calentamiento global, en kg de CO_{2,eq},
- Potencial de agotamiento de ozono estratosférico: en kg de CFC11_{eq}
- Potencial de acidificación, en kg de SO_{2,eq}
- Potencial de eutrofización, en kg de PO₄³⁻_{eq}
- Potencial de agotamiento de recursos abióticos, en kg de Sb_{eq}
- Potencial de formación de ozono fotoquímico, en kg de etano

Indicadores de inventario de ciclo de vida

- Consumo de energía primaria no renovable, en MJ,
- Consumo de energía primaria renovable, en MJ,
- Utilización de combustibles secundarios no renovables, en MJ,
- Utilización de combustibles secundarios renovables, en MJ,
- Consumo de agua dulce, en m³,
- Producción de residuos (peligrosos, no peligrosos y radioactivos), en kg
- Material de salida para (reutilización, reciclaje, valorización energética), en kg

83

Investigación: edificio en concreto reforzado

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

análisis comparativa:

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

Area estructural obtida foi de 2.078 m².

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

84

Investigación: edificio en concreto reforzado

25 MPa :

Cemento: 310 kg
Arena: 870 kg = 0,53 m³ arena / m³ concreto
Grava: 930 kg = 0,52 m³ grava / m³ concreto
Agua: 180 kg (o litros)

30 MPa :

Cemento: 340 kg
Arena: 770 kg = 0,47 m³ arena / m³ concreto
Grava: 970 kg = 0,54 m³ grava / m³ concreto
Agua: 180 kg (o litros)

35 MPa :

Cemento: 370 kg
Arena: 744 kg = 0,45 m³ arena / m³ concreto
Grava: 960 kg = 0,53 m³ grava / m³ concreto
Agua: 180 kg (o litros)

85

Investigación: edificio en concreto reforzado Cantidad de materiales

Para 25MPa :

concreto	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 :

concreto	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

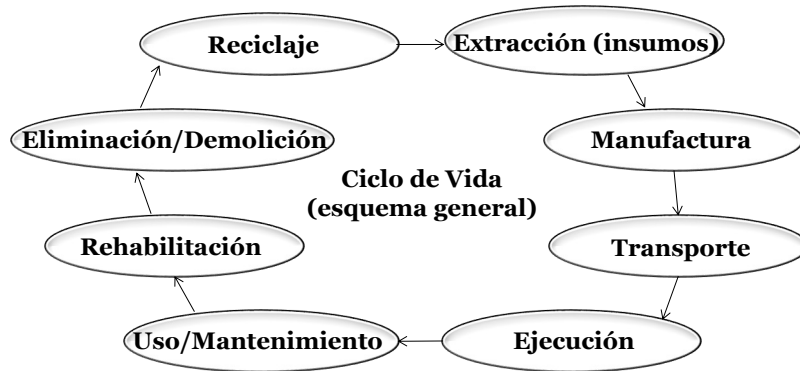
Para 35MPa :

concreto	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

86

LCA (Life Cycle Assessment)

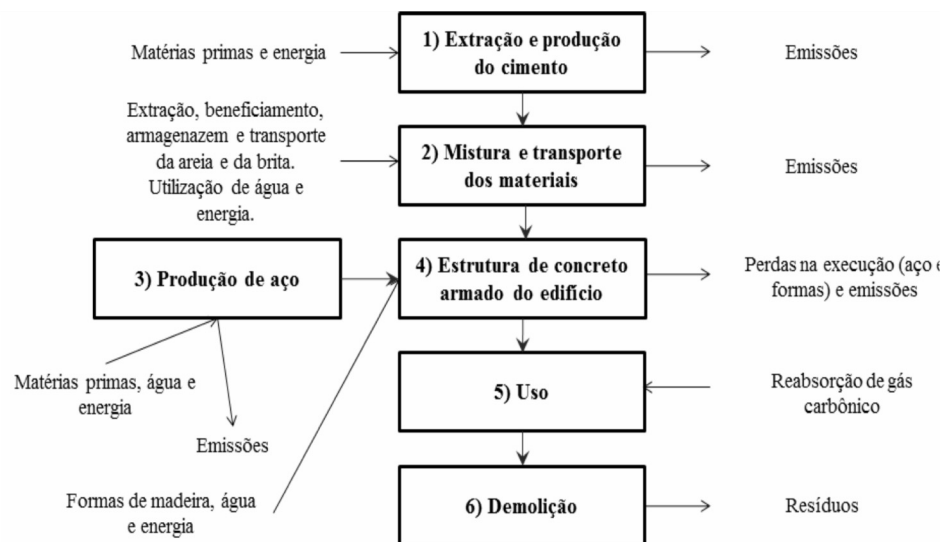
Esta revisión se hará de acuerdo con la PCR específica del producto, el cual indicará los requisitos y etapas de vida mínimas para ser analizados



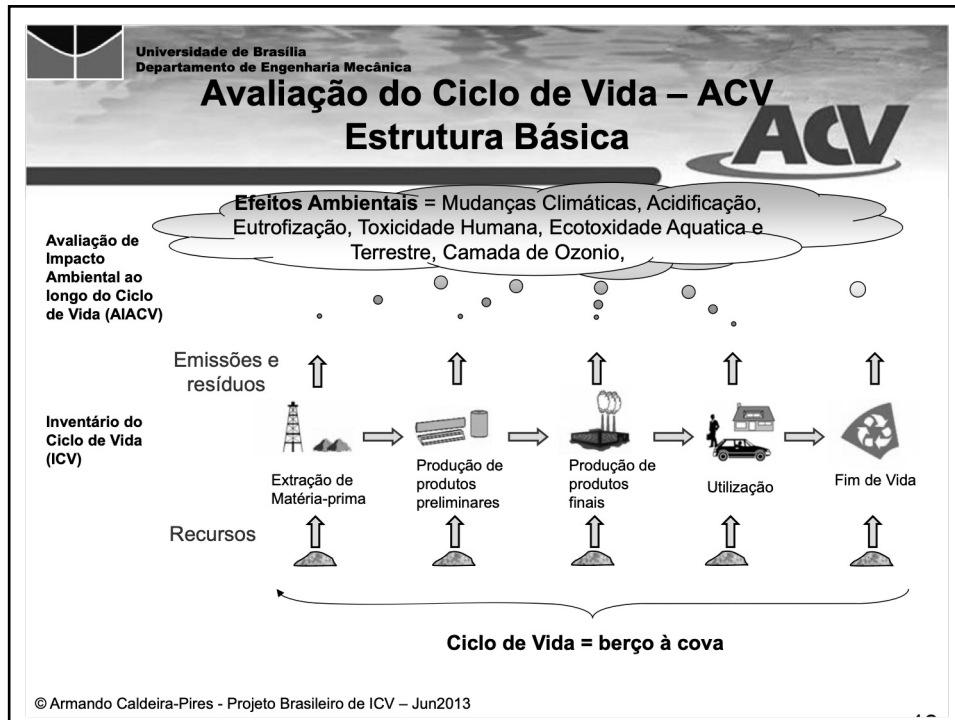
87

Investigación: edificio de concreto armado

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



88



89

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

90

concreto armado

... desde la cuna hasta la tumba ...

Category	Unit	Total	Materials	Production	Transport	End of Life
Global warming	[g CO ₂ -eq.]	102 610.0	67 800.0	27 700.0	3 720.0	3 390.0
Acidification	[g SO ₂ -eq.]	836.6	535.0	266.0	35.3	0.3
Eutrophication	[g NO ₃ -eq.]	712.2	471.0	179.0	59.2	3.0
Photochemical smog	[g C ₂ H ₄ -eq.]	24.2	18.0	0.8	4.6	0.7

91

Investigación: edificio de concreto armado

Se estudiaron los resultados obtenidos en relación a los impactos:

	25 MPa	30 MPa	35 MPa
Eutrofización	Maior	Medio	Menor
Formación de ozono fotoquímico	Maior	Medio	Menor
Ronsumo de recursos Materiales	Maior	Medio	Menor
Consumo de recursos energéticos	Maior	Medio	Menor
Ecotoxicidad	Maior	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.

92

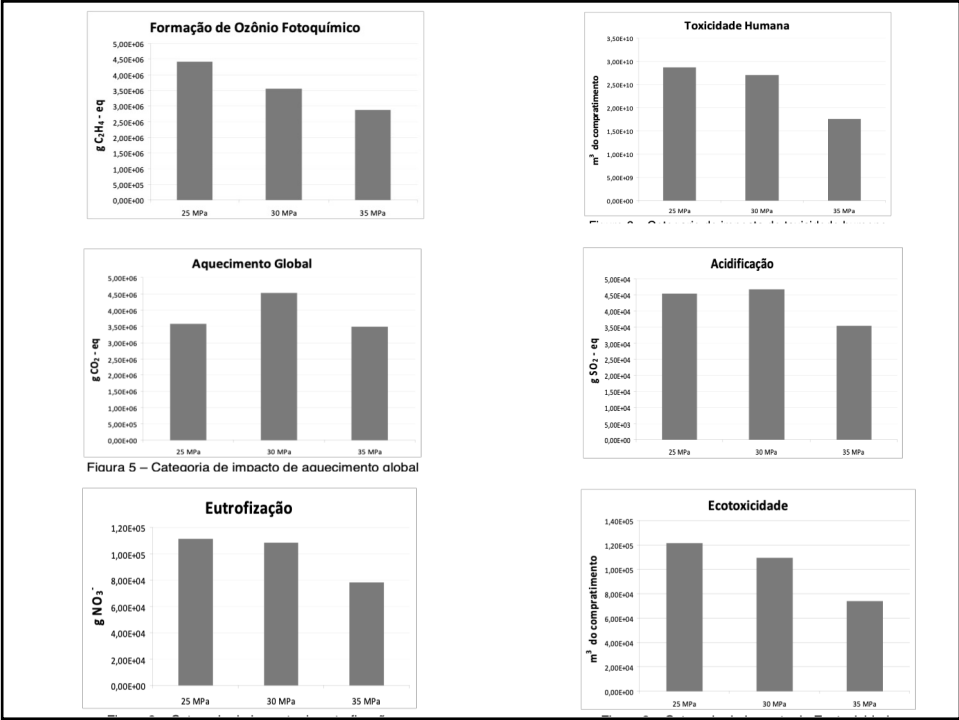
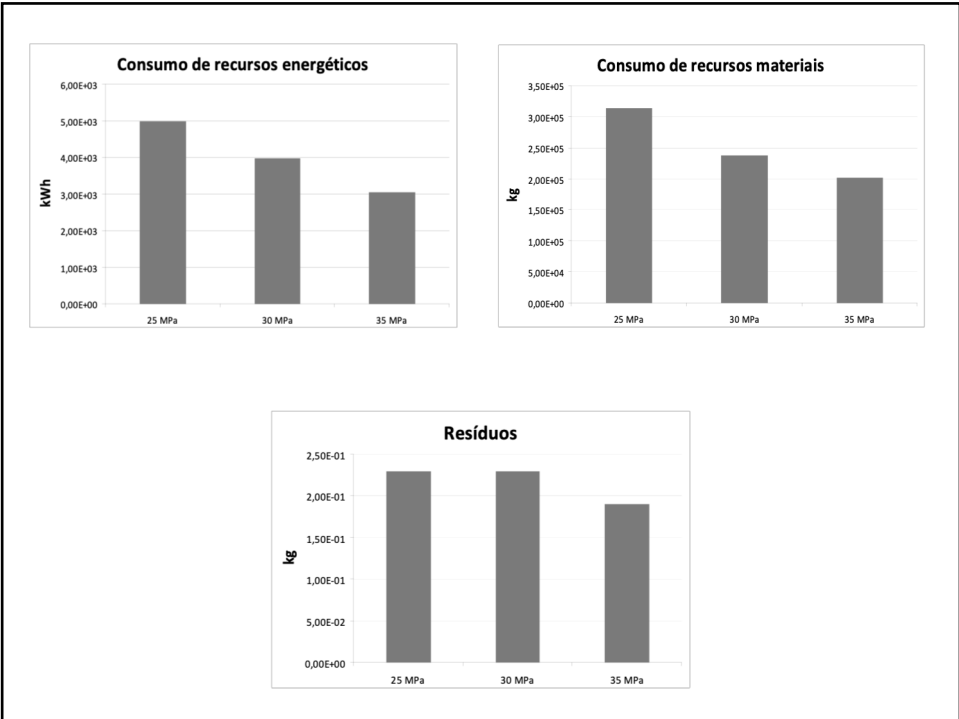


Figura 5 – Categoria de impacto de aquecimento global



Investigación: edificio en concreto reforzado

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

“A pesar de no estar totalmente concluida ya es posible afirmar que hubo una ventaja clara en substituir concretos de 20MPa por concretos 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 concretos de altas prestaciones (alto desempeño)”

95

Investigación: edificio en concreto armado

Conclusión:

Para todas las categorías de impacto con la estructura de f_{ck} 35MPa es ambientalmente los mínimos impactos al medio ambiente, que realizan la misma función, entonces la estructura con f_{ck} de 30MPa y finalmente la estructura f_{ck} 25MPa.

Ricardo BENTO, doutorado IAU.USP.

96

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.

97

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.



98



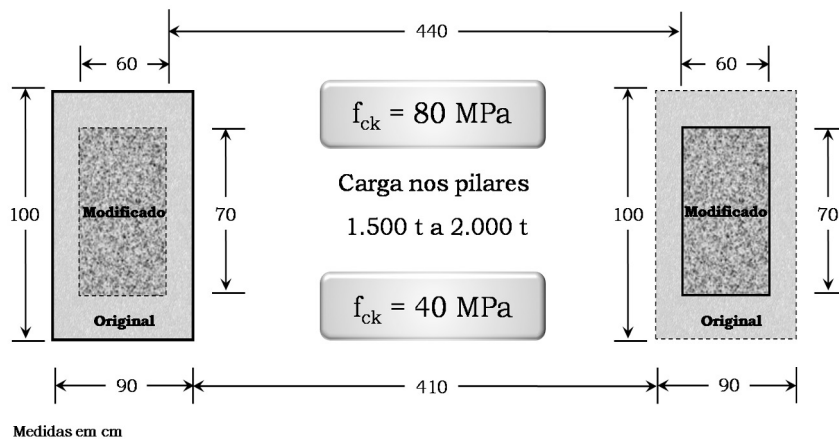
99

e-Tower

- Edificio e-Tower SP
- 42 pisos
- Helipuerto
- Piscina semi-olímpica
- Academia de gimnasia
- 2 restaurantes
- concreto coloreado
- f_{ck} pilares = 80MPa

100

Proyecto estructural (e-Tower)



101

Mito
HSC > 125MPa
consume muy
cemento y no es
Sostenible

102

VERDAD

**puede consumir mas
cemento por m³, pero la
cantidad de CO₂ , de
Energía e de H₂O reduce
mucho con MPa alto**

CO₂ / MPa

103



104

Control



105



106

Economía de Recursos Naturales

Original:

$$f_{ck} = 40\text{MPa}$$

sección transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm}$

0,90m²

HPC / HSC:

$$f_{ck} = 80\text{MPa}$$

sección transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm}$

0,42m²

107

Sostenibilidad



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

108

Sostenibilidad



- **25% mas de reaproveitamento del molde**
- **43% menos acero**
- **16 coches a mas**
- **3x vida útil más grande**
- **100% desforma más rápida**

109

Puntos Importantes

Concepto de rendimiento:

Considerando apenas el contenido de cemento:

Concreto 120MPa → 4,0kg/MPa
→ 1,2kg clínquer / MPa

Concreto de 40MPa → 6,7 kg/MPa
→ 2,1kg clínquer / MPa

Concreto de 20MPa → 11,5 kg/MPa
→ 3,5kg clínquer / MPa

110

Revolución en los Materiales

1972	2013
cemento / arena / grava / agua	cemento / arena / grava / agua
escoria	escoria
ceniza volante	ceniza volante
plastificante	plastificante
	super plastificante
	regulador de fraguado
	fibras
	metacaolín HP
	silica activa
	nanosílica
	pigmentos
	cristalizante / nanotubo
	densificador / caliza

111

CONCRETO RESPONSIBLE, 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

112

Como ser un Arquitecto o Ingeniero mejor y actual ?

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

113

Es correcto evaluar crecimiento solamente por índices economicos ?

- ✓ Ha mejorado la calidad de vida?
- ✓ Ha mejorado el saneamiento y salud?
- ✓ Hubo menos accidentes graves en obras?
- ✓ Hubo evolución en el uso de tecnología?
- ✓ Hubo evolución en la calidad y Sostenibilidad de las obras?
- ✓ Hubo evolución en la transferencia de tecnología Universidad / ArquitecturaIngeniería / Las Empresas?
- ✓ Quales deben ser los índices de excelência a serem perseguidos?

114

Estructuras de Alto Desempeño

- Reduce el riesgo de tener problemas**
- Necesita estudios previos**
- Necesita gerenciar la calidad**
- Necesita conocer y bien utilizar normas y documentos existentes**
- Es un trabajo de equipo, de nación...**

115



116