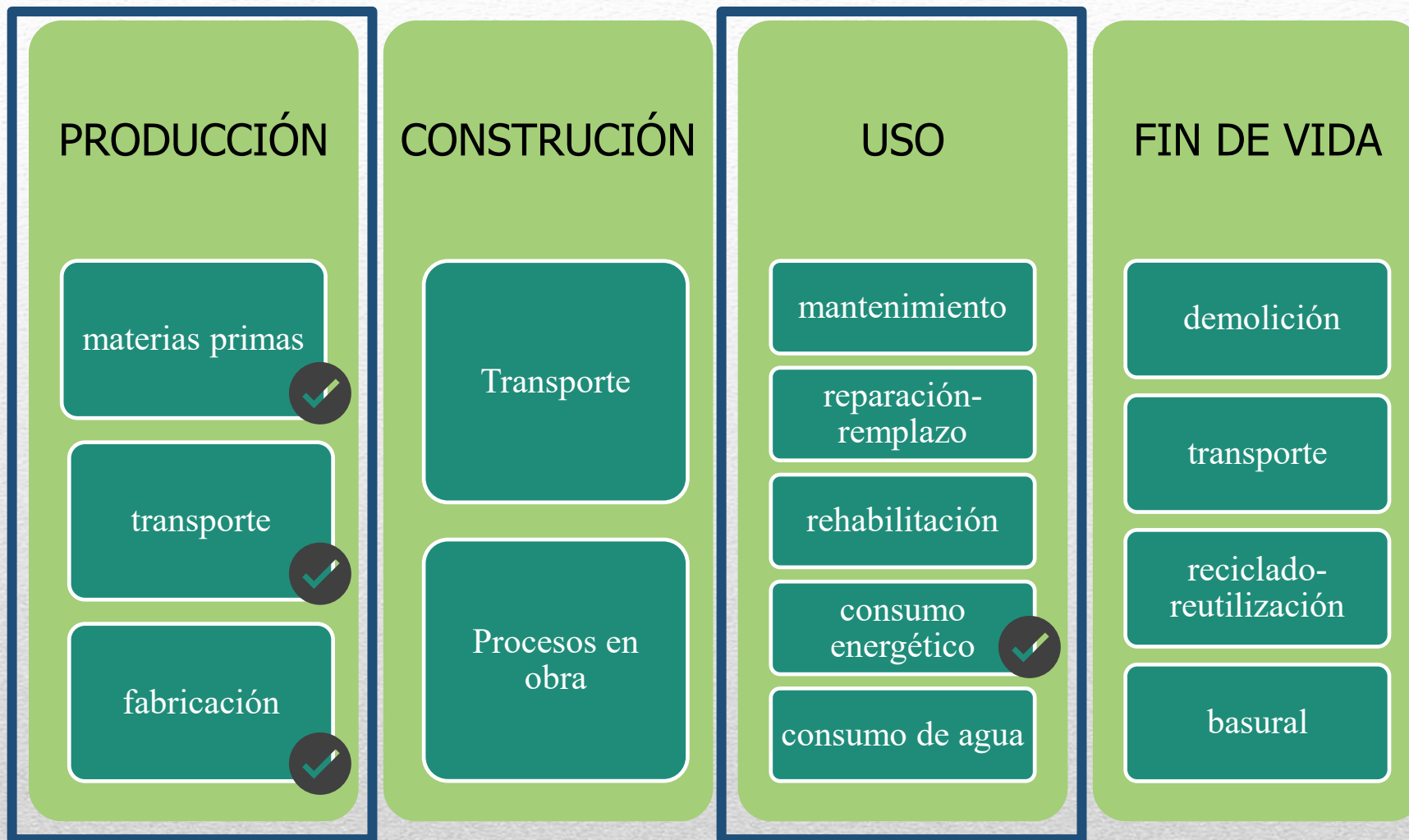


ARQUITECTURA SUSTENTABLE

ENERGÍA TOTAL DE UN EDIFICIO

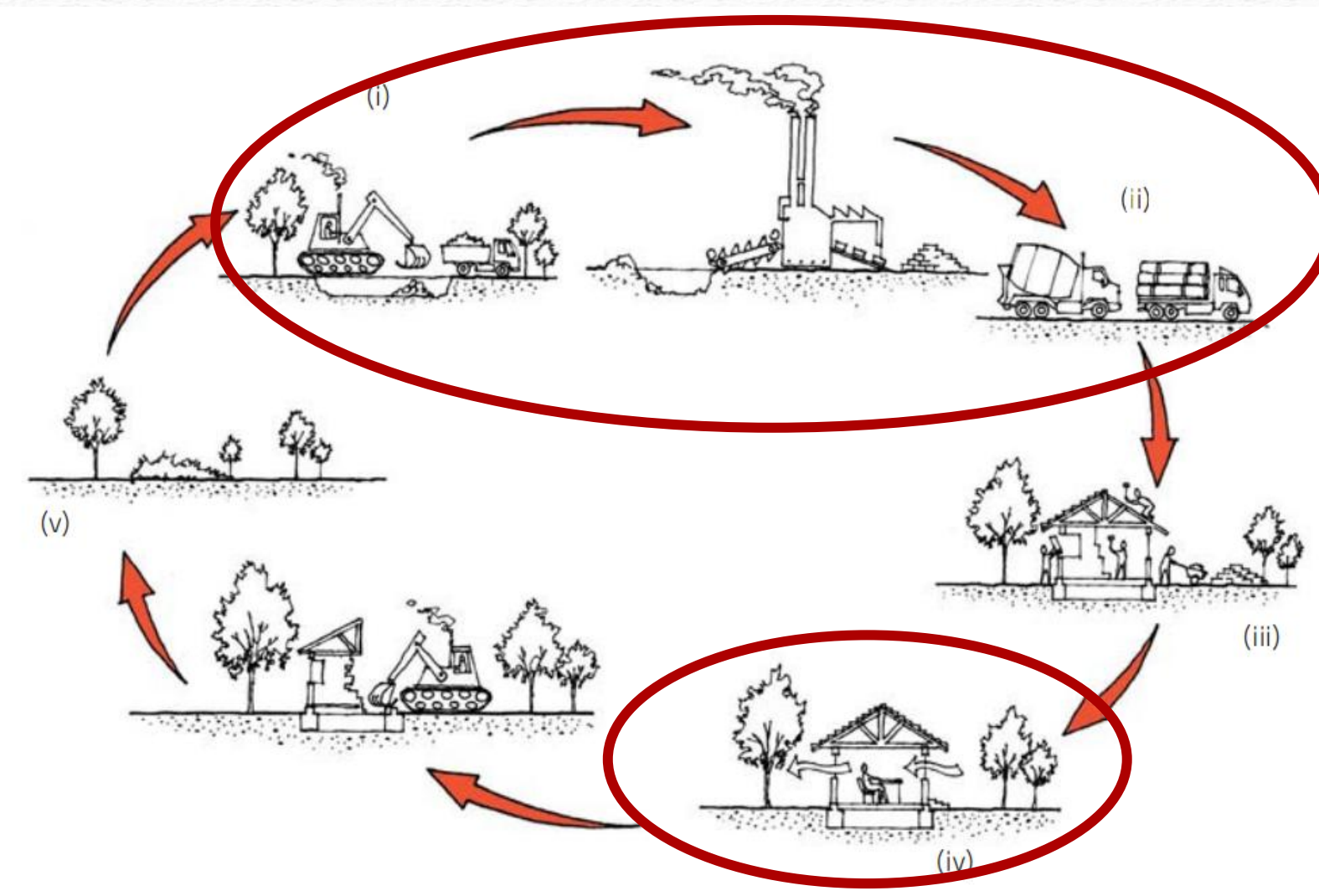


Dra. Arq. M. Victoria Mercado



ETAPAS CONSIDERADAS PARA EL ACV SIMPLIFICADO DE UN EDIFICIO

ENERGÍA TOTAL DE UN EDIFICIO



Las fases de extracción y fabricación de materiales (energía incorporada) y la fase de uso (energía operativa) del edificio son las que concentran hasta un **90% del consumo** de energía y emisiones de CO₂ del ciclo de vida de un edificio.

ENERGÍA TOTAL DE UN EDIFICIO

ENERGÍA INCORPORADA

Es toda la energía que se necesitó en los distintos procesos necesarios para llevar el material a su lugar en el edificio: desde la extracción de las materias primas, hasta su manufactura y construcción; debe incluir la energía asociada al transporte (y a la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que éste sea posible), así como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarios para todos esos procesos.

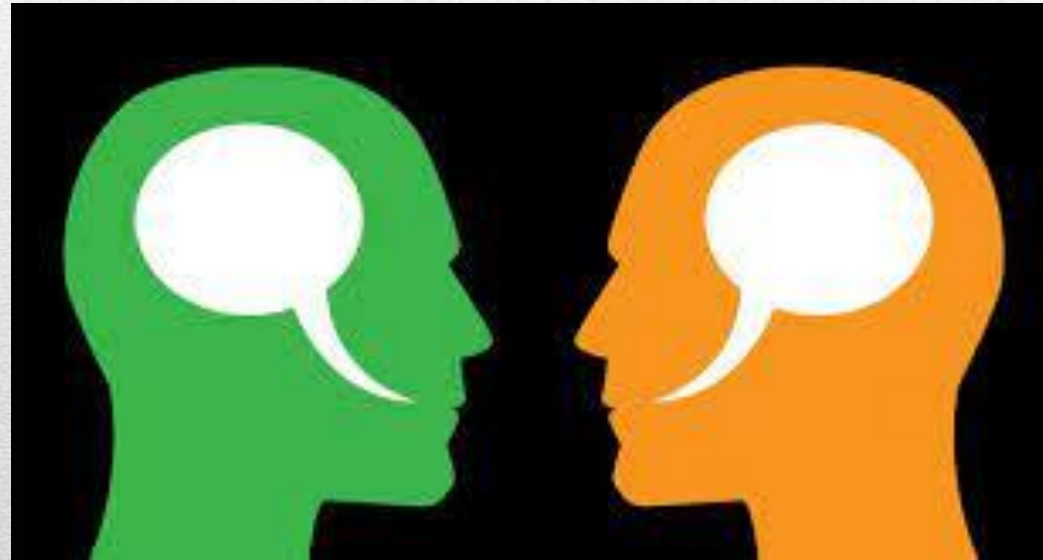
ENERGÍA OPERATIVA

Es toda la energía que se utiliza en el edificio para otorgar habitabilidad a sus ocupantes. Es la energía que se utilizará para calefacción, refrigeración, ACS, iluminación, cocción de alimentos, etc.

CÓMO LOGRAR EL AHORRO ENERGÉTICO desde una perspectiva AMBIENTAL

ENERGÍA INCORPORADA

ENERGÍA OPERATIVA



posiciones encontradas

CÓMO LOGRAR EL AHORRO ENERGÉTICO desde una perspectiva

AMBIENTAL

ENERGÍA INCORPORADA



ENERGÍA OPERATIVA



El uso de los "nuevos" materiales "verdes" puede ser como "matar moscas a cañonazos": muchos de ellos requieren altas energías de fabricación y lo más que pueden ofrecer es aumentos en la eficiencia. No es el camino más directo hacia la disminución de los impactos sobre el ambiente.

CÓMO LOGRAR EL AHORRO ENERGÉTICO desde una perspectiva

AMBIENTAL

ENERGÍA INCORPORADA



ENERGÍA OPERATIVA

Una de las estrategias más óptimas para lograr una construcción sostenible es seleccionar materiales que reduzcan la huella ambiental

En este sentido, se sugiere que los diseñadores y arquitectos observen estas consideraciones en las primeras etapas del proceso de diseño.

El factor más importante para reducir el impacto de la energía incorporada es diseñar edificios con una larga vida útil, duradera y adaptable.



ENERGÍA TOTAL DE UN EDIFICIO

ENERGÍA INCORPORADA

El **costo energético de fabricación** dependerá esencialmente de la cantidad de material utilizado y de su naturaleza (intensidad energética), así como de la durabilidad general de la construcción.

ENERGÍA OPERATIVA

El **costo energético de mantenimiento**, a igualdad de cantidad y naturaleza de los materiales, dependerá significativamente de la geometría particular con que se empleen y de la eficiencia general de sus sistemas energéticos.

En lo que se refiere al costo energético total, interesa desde el principio evaluar los términos más significativos de su estructura agregada, en lo que se refiere a cuatro variables sintéticas: durabilidad, materiales, geometría y eficiencia.

ENERGÍA TOTAL DE UN EDIFICIO

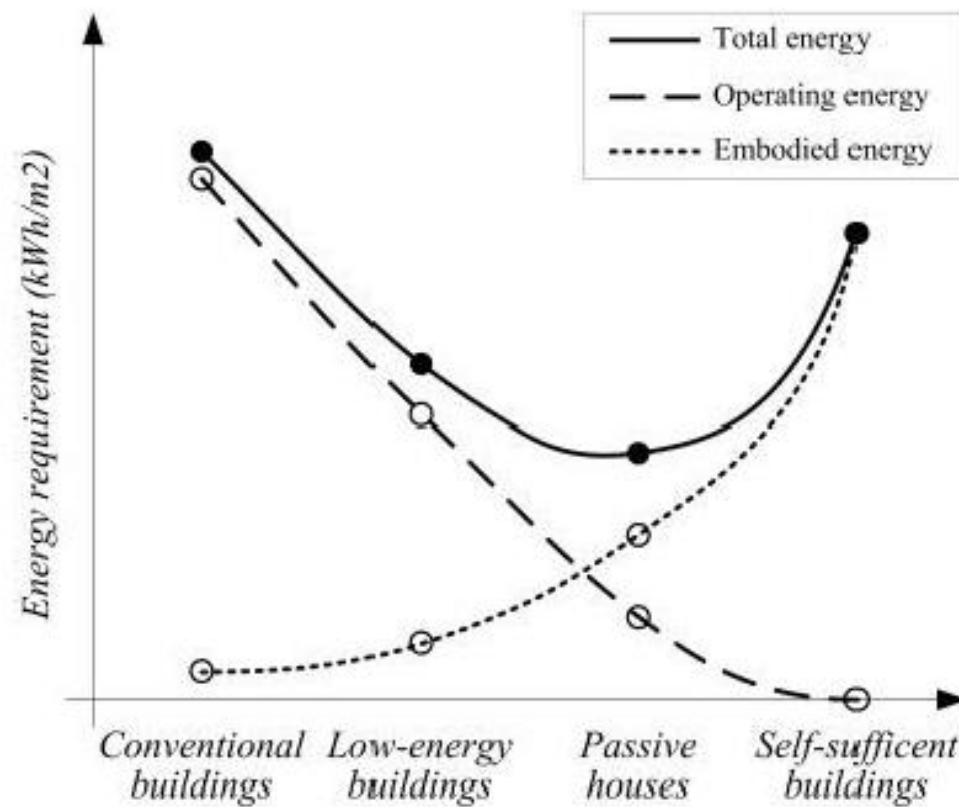
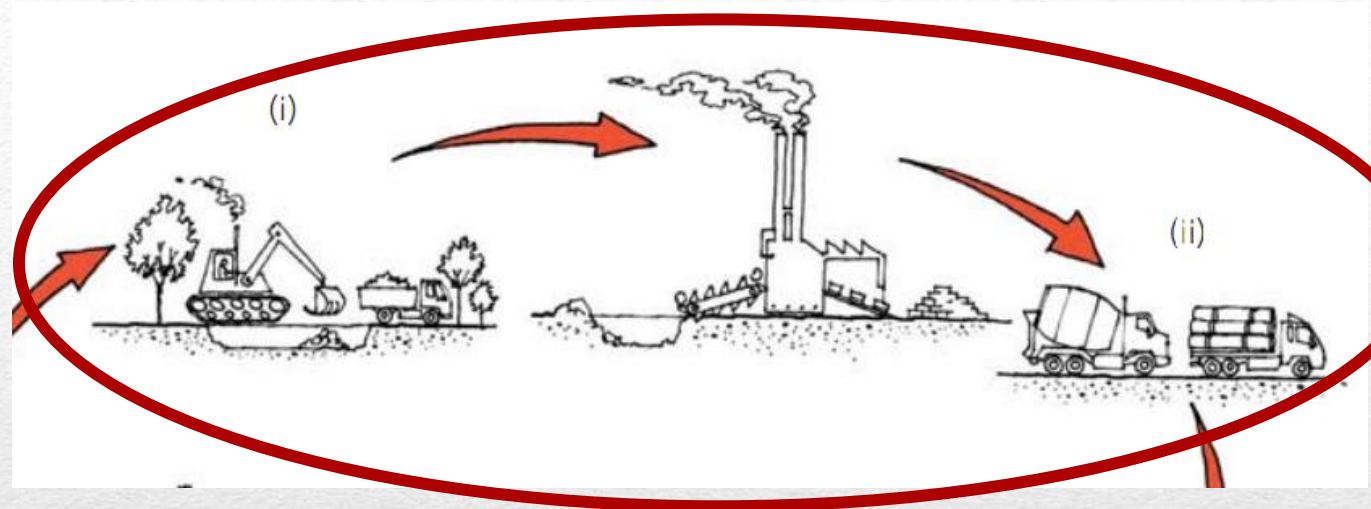


Figura 2.14. Compensación entre la energía incorporada y operativa para varios tipos de edificios.
Fuente: (Copiello, 2016)

ENERGÍA INCORPORADA EI

$$\begin{aligned}
 & \tau k \leq p\theta - \alpha_0 \leq \pi/2 + 2\pi k, \quad p = 2\mathcal{V}_0 + (1/2)[\text{sg } A_1 - \text{sg } (A_{n-1}A_n)] \\
 & = \sum_{j=0, j \neq p}^n A_j \rho^j \cos[(p-j)\theta - \alpha_j] + \rho^p. \quad \mu = \rho^p > \sum_{j=0, j \neq p}^n A_j \rho^j, \quad \Delta_L \arg f(z) = (\pi/2)(S_1 + \\
 & i(u) = \prod_{k=1}^n (u + u_k) G_0(u), \quad \Re[\rho^p f(z)/a_p z^n] = \sum_{j=0, j \neq p}^n \\
 & (A_{n-1}A_n) \quad \rho(x) = -G(-x^2)/[xH(-x^2)]. \\
 & p = 2\mathcal{V}_0 \quad \rho^p > \sum_{j=0, j \neq p}^n A_j \rho^j, \quad (\lambda - \lambda_0) \left(\frac{\partial \rho}{\partial \lambda} \right) + (\mu - \mu_0) \left(\frac{\partial \rho}{\partial \mu} \right) = 0 \\
 & -\pi/2 + 2\pi k \leq p\theta - \alpha_0 \leq \pi/2 + 2\pi k
 \end{aligned}$$



La definición de la EI es la cantidad de energía directa e indirecta necesaria para producir bienes y servicios.

La energía directa se refiere a la requerida por el proceso de fabricación.

La energía indirecta es absorbida por la minería, la transformación y el transporte de los factores de producción

DECLARACIONES AMBIENTALES DE PRODUCTOS - EPD

Documentos fundamentados en directrices ISO (entre otras la ISO 14025, ISO 21930, ISO 15804) con la finalidad de aportar información cuantitativa de los impactos ambientales que comporta un producto a lo largo de su Ciclo de Vida. Son conocidas como “Eco-etiquetas tipo” y, en sí mismas, no definen criterios de preferencia ambiental ni establecen requisitos mínimos a cumplir, simplemente informan. En este sentido, se trata de analizar el Ciclo de Vida de un material y ofrecer esta información para la toma de decisiones de proyecto y ejecución de obras



DECLARACIONES AMBIENTALES DE PRODUCTOS - EPD



La información contenida se basa en la realización de una evaluación global y multicriterio de los impactos medioambientales de un producto desde su origen hasta el final de su vida útil. Esto se hace utilizando el método de Análisis del Ciclo de Vida (ACV), siguiendo las reglas que se establecen para cada Categoría de Producto sobre una base científica y reglamentada.

Los parámetros que se analizan son diversos:
Consumo energético;
agotamiento de recursos; consumo de agua; residuos sólidos; cambio climático; acidificación atmosférica; polución del aire y del agua; destrucción de la capa de ozono, entre otros.

Tipo	Material	ρ (kg/m ³)	Energía Incorporada		Emisiones
			MJ /kg	kWh/kg	CO ₂ /kg
Aislamiento convencional	EPS - poliestireno expandido (0,037 W / mK)	30	117.1	32.5	17.3
Aislamiento natural	aglomerados de corcho natural	160	3.0	0.8	0.2
Bituminoso	Asfalto	2100	3.4	0.9	0.5
Caucho	caucho celular	70	110.0	30.6	16.3
Cerámica	Azulejos de cerámica	2300	11.1	3.1	0.6
Cerámica	Las baldosas del suelo	2500	10.9	3.0	0.8
Yeso	Desnatado Yeso (1000 < ρ < 1300)	1150	1.8	0.5	0.2
Bloque cerámico de arcilla aligerada	bloques de cerámica con mortero aislante (140 mm de espesor)	1020	2.6	0.7	0.2
Bloque de hormigón ligero	bloques de hormigón ligero (espesor anulados 250 mm)	760	5.3	1.5	0.5
Bloque de hormigón convencional	bloques de hormigón convencional (espesor de 100 mm)	1210	1.3	0.3	0.2
Ladrillo	1 metro o catalán pedestal de ladrillo macizo (40 mm < espesor < 50 mm)	2140	2.3	0.6	0.2
Ladrillo	tabique de ladrillo hueco doble (60 mm < espesor < 90 mm)	930	2.3	0.6	0.2
Forjado unidireccional	Losas unidireccionales con relleno de viga de hormigón (profundidad 250 mm)	1330	2.7	0.8	0.3
Hormigón	Hormigón armado (2300 < ρ < 2.500)	2400	0.5	0.1	0.1
Losa de núcleo hueco	Con capa de compresión (profundidad 200 mm)	1810	3.7	1.0	0.4

Tipo	Material	ρ (kg/m ³)	Energía Incorporada		Emissiones
			MJ /kg	kWh /kg	CO ₂ /kg
Madera	Tableros de fibra orientada - OSB (ρ <650)	600	15.0	4.2	1.4
Metal	Acero	7800	35.0	9.7	2.8
Morteros	Cemento o mortero de cal para albañilería (1000 < ρ <1250)	1125	0.8	0.2	0.1
Pisos	Granito (2500 < ρ <2700)	2600	0.2	0.1	0.0
Plástico	poli carbonato	1200	79.0	21.9	11.7
Pinturas	Pintura de emulsión	50	20.0	5.6	3.0
Cristales	Doble acristalamiento, con acabado transparente placa de vidrio, de 4 mm de espesor cada una, y un espacio de aire de 6 mm	2530	349.9	97.2	21.8
Marcos	Marco de aluminio lacado con dos bisagras, hojas de tubo de acero galvanizado pre-marco y puerta enrollable de aluminio lacado de distancia de aproximadamente 120 x 120 cm	2700	5416.2	1504.5	755.1
Puertas	Interior puerta de madera en el interior de sapelly barnizadas de entrada de aproximadamente 70 x 200 cm	700	213.9	59.4	21.8

Tabla 2.4. El y emisiones de CO₂ en materiales.

Fuente: Elaboración propia con datos del banco BEDEC del ITeC.

ENERGÍA OPERATIVA

BALANCE ENERGÉTICO

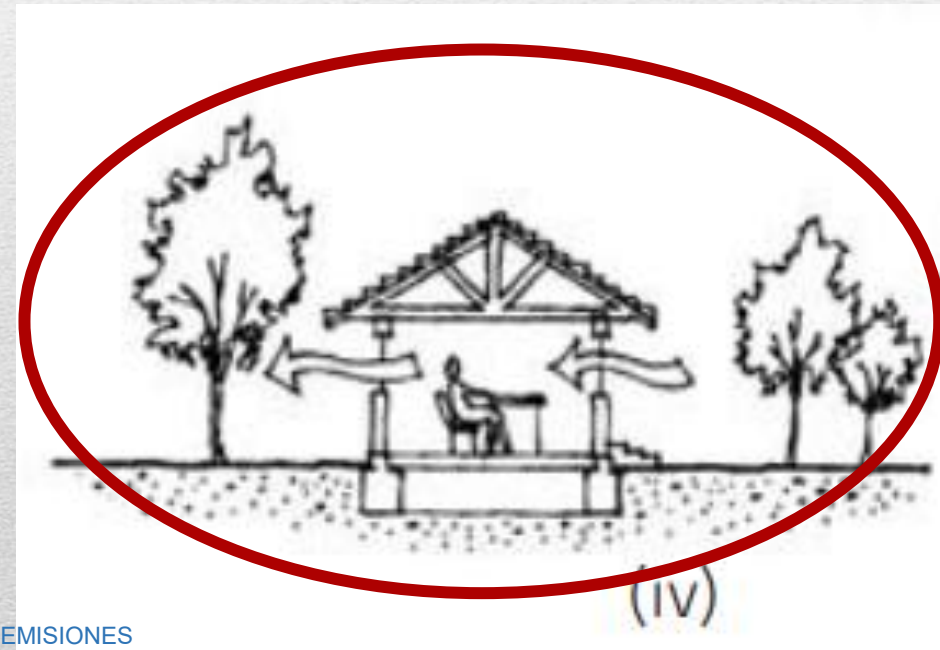
$$\begin{aligned}
 & \tau k \leq p\theta - \alpha_0 \leq \pi/2 + 2\pi k, \quad p = 2\mathcal{V}_0 + (1/2)[\text{sg } A_1 - \text{sg } (A_{n-1}A_n)] \\
 & = \sum_{j=0, j \neq p}^n A_j \rho^j \cos[(p-j)\theta - \alpha_j] + \rho^p. \quad \mu \rho^p > \sum_{j=0, j \neq p}^n A_j \rho^j, \quad \Delta_L \arg f(z) = (\pi/2)(S_1 + \\
 & i(u) = \prod_{k=1}^n (u + u_k) G_0(u), \quad \Re[\rho^p f(z)/a_p z^n] = \sum_{j=0, j \neq p}^n \\
 & (A_{n-1}A_n) \quad \rho(x) = -G(-x^2)/[xH(-x^2)]. \\
 & p = 2\mathcal{V}_0 \quad \rho^p > \sum_{j=0, j \neq p}^n A_j \rho^j, \quad (\lambda - \lambda_0) \left(\frac{\partial \rho}{\partial \lambda} \right) + (\mu - \mu_0) \left(\frac{\partial \rho}{\partial \mu} \right) = 0 \\
 & -\pi/2 + 2\pi k \leq p\theta - \alpha_0 \leq \pi/2 + 2\pi k
 \end{aligned}$$

ENERGÍA INCORPORADA

Se puede definir la EO como el uso de energía durante la actividad ocupante o la energía total necesaria para la operación de un edificio.

La EO depende de las condiciones climáticas, de las necesidades de la región y confort de los ocupantes.

Algunos indicadores de la energía de operación son: Acristalamientos, marcos de ventanas dimensiones de la sala, latitud del sitio, la orientación, horas ocupadas, las ganancias internas, valores de la transmitancia térmica U, la temperatura externa, la masa térmica, tasa de intercambio de aire, radiación solar, temperatura de confort, densidad, especificación del calor y espesor de los materiales



FUENTE: Claudia N. Quispe Gamboa, 2016. Tesis doctoral: [ANÁLISIS DE LA ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO2 APLICADO A VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA](#)

UN EDIFICIO PUEDE SER CONSIDERADO COMO UN SISTEMA TÉRMICO EN INTERACCIÓN CON SU MEDIO EXTERIOR.

El edificio en general no se encuentra en equilibrio constante con su medio, sino que tiene una diferencia, que es producto del ciclo temperatura día/noche o del ciclo estacional.

el balance energético de un edificio se obtiene como la evaluación de los flujos de calor que entran y salen del edificio cada hora.

En el caso de un balance dinámico se tiene en cuenta la acumulación energética y la inercia térmica.

Resistencia Térmica R

La transferencia de calor a través del espesor de un material depende de la resistencia que cada elemento ofrece al paso del calor. Esta resistencia se define como:

$$R = e/\lambda \quad (\text{m}^2 \text{ K} / \text{W})$$

Donde:

e = espesor (m)

λ = conductividad del material (W/m²K)

Grupo	Material	λ W/m.°C
Buenos conductores	Aluminio	230
	Acero	52
Conductores	Piedras pesadas	3.5 a 2.1
	Hormigón armado	
	Hormigón con agregados pétreos ($\rho = 1800$ Kg/m ³)	0.97
	Hormigón con agregados pétreos ($\rho = 2400$ Kg/m ³)	1.63
	Hormigón armado ($\rho = 1800$ Kg/m ³)	1.17
	Hormigón armado ($\rho = 2200$ Kg/m ³)	1.74
	Hormigón mortero de revoques y juntas ($\rho = 2000$ Kg/m ³)	1.16
Malos conductores	Tierra cocida	1.15
	Ladrillón	0.82
	Tierra comprimida	1.05 a 1
	Agua	0.59
	Yesos	0.5 a 0.35
Aislantes	Aire inmóvil	0.0236
	Poliestireno expandido ($\rho = 15$ Kg/m ³)	0.041
	Poliestireno expandido ($\rho = 20$ Kg/m ³)	0.035
	Poliestireno expandido ($\rho = 25$ Kg/m ³)	0.032
	Poliestireno expandido ($\rho = 30$ Kg/m ³)	0.031
	Maderas naturales (pino)	0.13 a 0.19
	Maderas naturales (roble)	0.24
	Maderas terciada	0.11
	Madera parquet	0.17 a 0.23
	Lana de Vidrio	0.041 a 0.03
	Material plástico alveolar	0.044 a 0.02
	Poliuretano en plancha (densidad = 30 Kg/m ³)	0.035
	Espuma de poliuretano	0.021

Resistencia térmica de paquetes compuestos R_t

La envolvente de un edificio, en general, está compuesta por varios materiales, armando lo que llamaremos componentes de cerramientos verticales y horizontales.

$$R_t = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{c1} + R_{cn} + R_{si} \quad [m^2 K / W]$$

Donde:

R_{se} = resistencia superficial exterior $[m^2 K / W]$

R = resistencia térmica de una capa homogénea de material $[m^2 K / W]$

R_{si} = resistencia superficial interior $[m^2 K / W]$

Transmitancia o Conductancia térmica U

Es la cantidad de calor que un elemento es capaz de transmitir (puede estar compuesto por varias capas de materiales o cámaras de aire) de un espacio a otro.

$$U = 1 / R_t \quad (W / m^2 K)$$

Donde:

R_t = Resistencia total

Diferencia de temperatura ΔT

Es la diferencia absoluta entre temperaturas, exterior e interior.

La **Te** (temperatura exterior) será un valor a obtener de los registros meteorológicos. Puede utilizarse la TMD que proporciona las tablas de la Norma IRAM 11603.

La **Ti** o **Tc** (temperatura interior o de confort) será el valor que se quiere alcanzar en el interior de un edificio o espacio. Será cercano a un valor dentro de los parámetros de confort.

Para invierno: 18°C – 25°C **20°C**

Para verano: 20°C – 27°C **24°C**

BALANCE TÉRMICO-ENERGÉTICO

$$+/- Q_c +/- Q_v + Q_s + Q_i + Q_m = 0$$

Donde:

Q_c = ganancia o pérdida por conducción

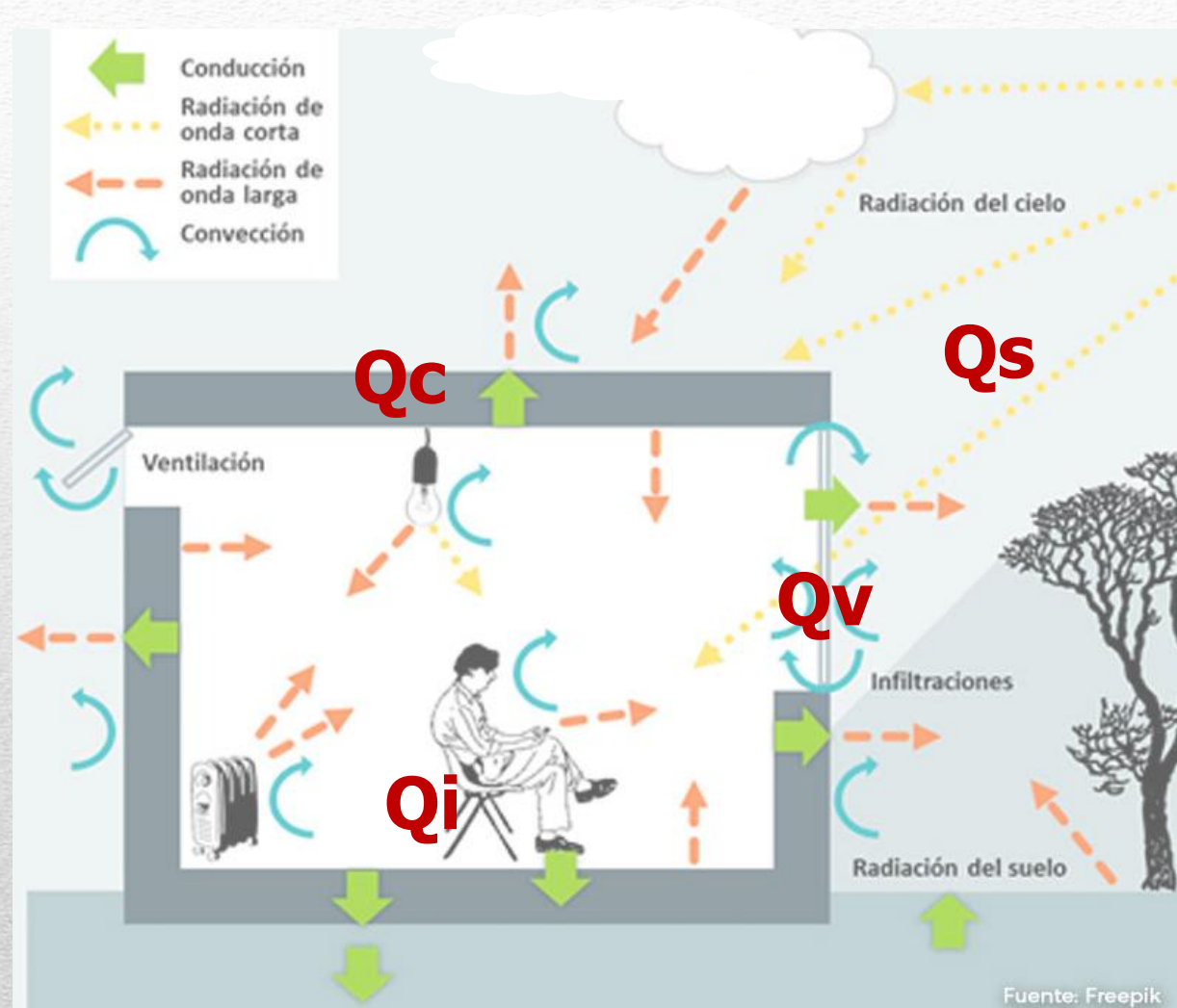
Q_v = ganancia o pérdida de ventilación

Q_s = ganancia solar

Q_i = ganancia interna

Q_m = ganancia o pérdida mecánica

CONCEPTOS BÁSICOS



Q_c = Ganancia o pérdida por conducción

$$Q_c = U * A * \Delta T$$

Donde:

U = resistencia total (W/ m² K)

A = área perpendicular al flujo de calor (m²)

ΔT = diferencia de temperaturas (°C)

BALANCE TÉRMICO-ENERGÉTICO

Q_v = Ganancia o pérdida por infiltración y ventilación

$$Q_v = 0,33 * N * V * \Delta T$$

Donde:

N = número de renovaciones por hora

V = volumen del espacio-edificio en estudio (m^3)

ΔT = diferencia de temperaturas ($^{\circ}C$)

0,33 = factor (capacidad volumétrica del aire de retener calor de $1200J/m^3 K$)

$$1W = 1J/1s$$

$$1200/3600 = 0.33$$

BALANCE TÉRMICO-ENERGÉTICO

Qi = Ganancias internas

$$Q_i = \sum N_{\text{n elemento}} * W_{\text{n elemento}}$$

Donde:

N = número de veces que se repite el elemento

W = energía que expide el equipo

BALANCE TÉRMICO-ENERGÉTICO

Q_s = Ganancia solar

$$Q_{sd} = G * A * fgs$$

ó

$$Q_{si} = U * G * A * \alpha * Rse$$

Donde:

G = radiación solar incidente en la ventana o elemento (W/ m²)

A = área de ventana o elemento (m²)

fgs = factor de ganancia solar, está en función del tipo de ventana y representa la cantidad de radiación que efectivamente atraviesa el elemento

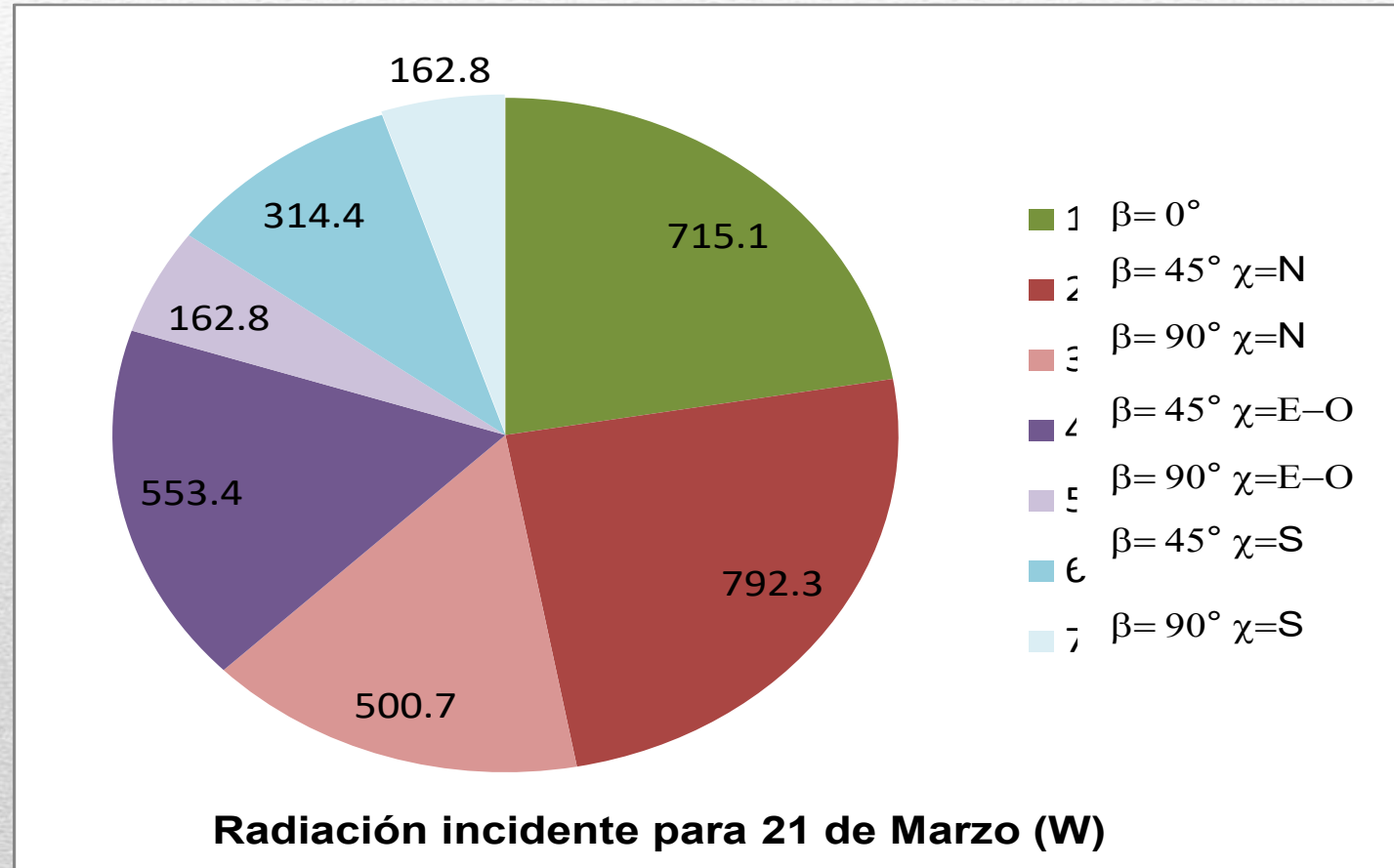
U = transmitancia térmica del elemento opaco (W/ m² K)

α = absorptividad superficial del elemento

Rse = resistencia superficial exterior (m² K /W)

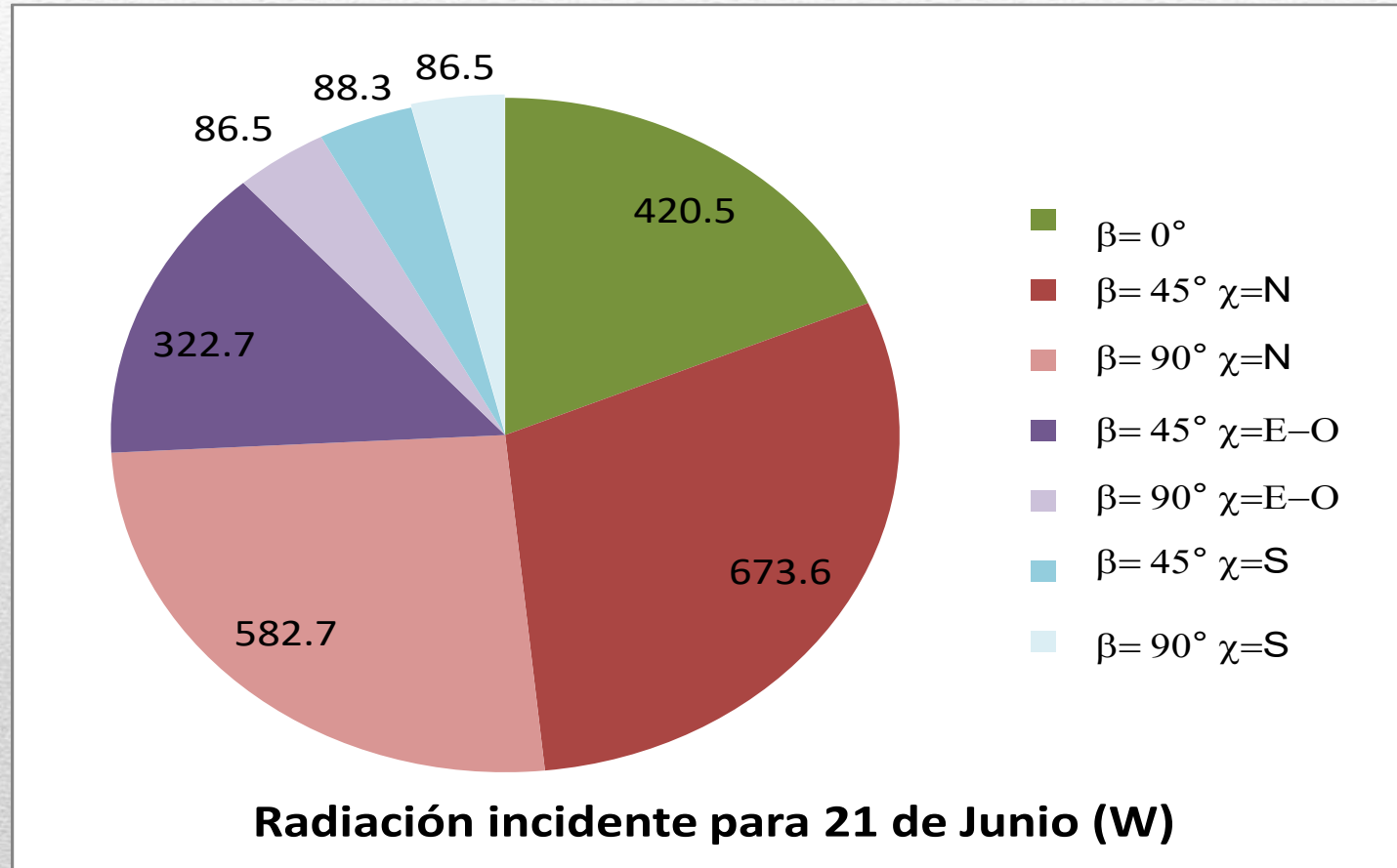
Radiación solar incidente G

Este valor cambiará de acuerdo a la orientación del plano, al día del año y a la inclinación del plano (β)



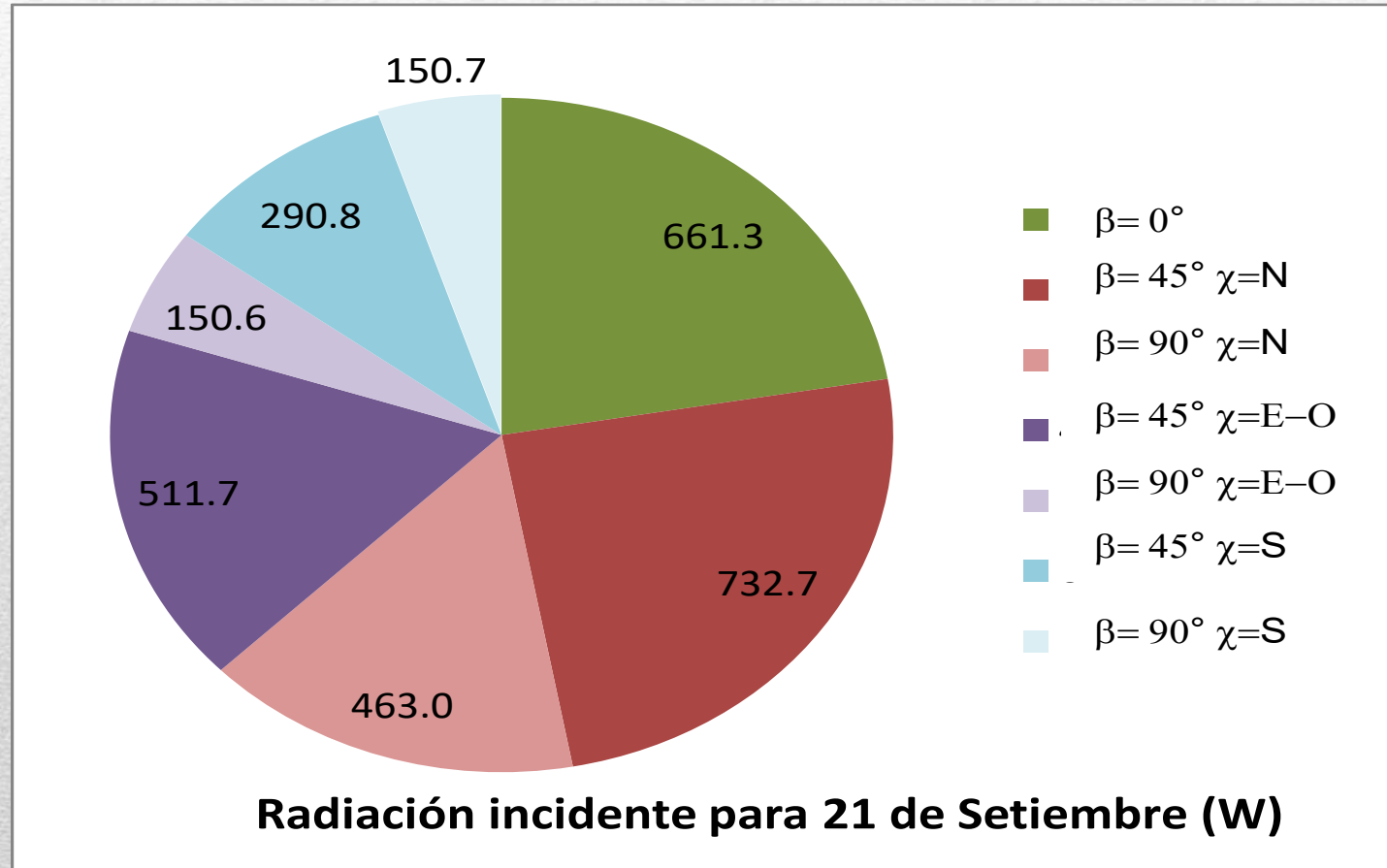
Radiación solar incidente G

Este valor cambiará de acuerdo a la orientación del plano, al día del año y a la inclinación del plano (β)



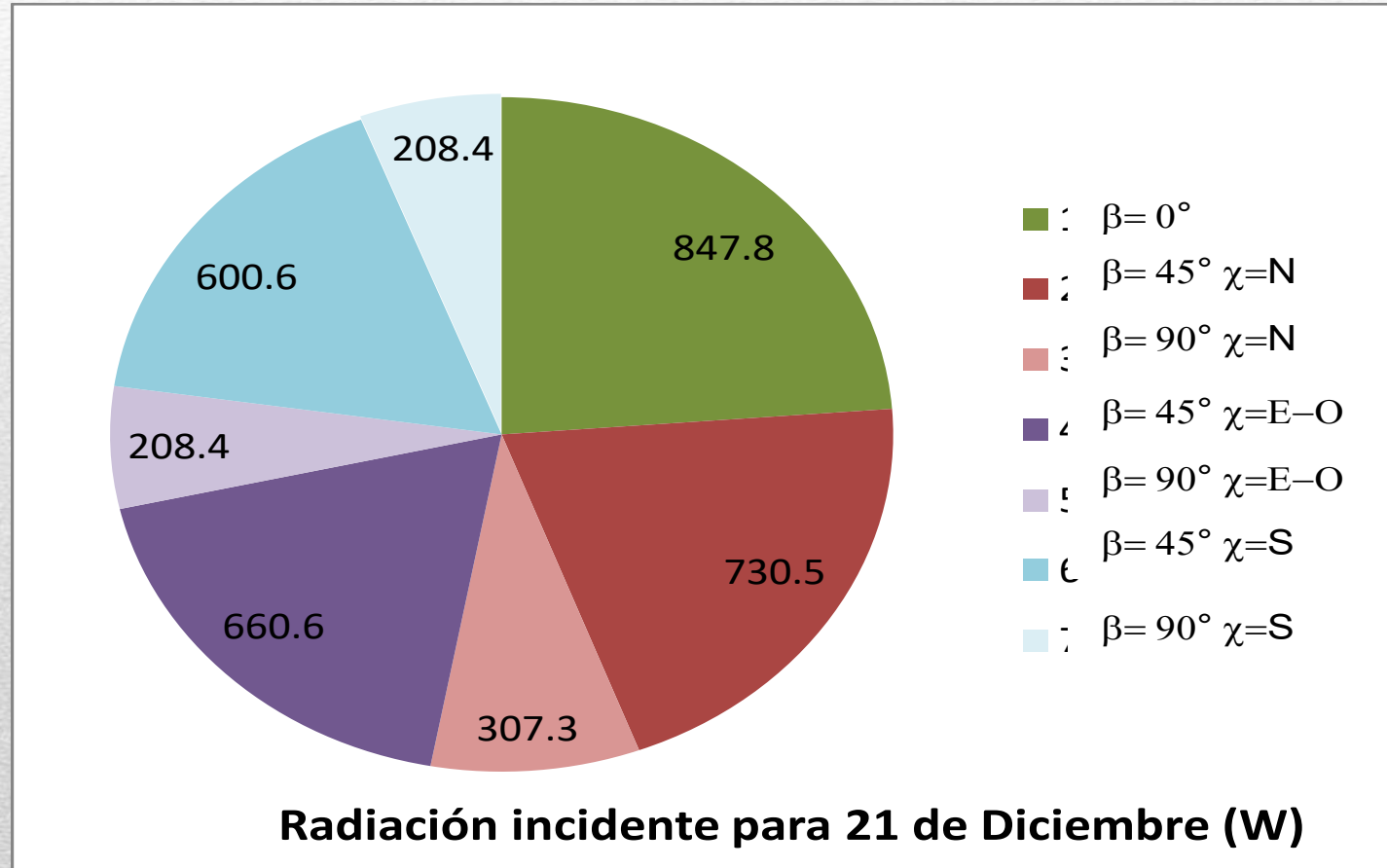
Radiación solar incidente G

Este valor cambiará de acuerdo a la orientación del plano, al día del año y a la inclinación del plano (β)



Radiación solar incidente G

Este valor cambiará de acuerdo a la orientación del plano, al día del año y a la inclinación del plano (β)



Coeficiente de absorción α

Este valor cambiará de acuerdo al color de la superficie expuesta.

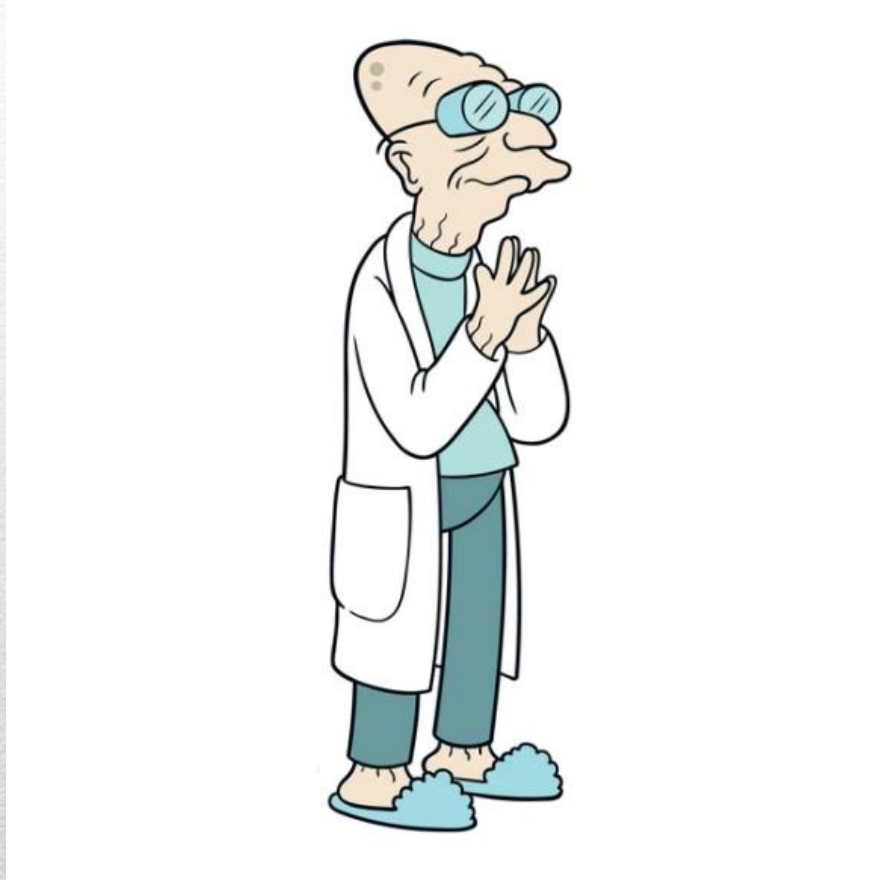


Material	α a la RS
Aluminio	0.05
Aluminio oxidado	0.15
Laca blanca	0.15
Pintura Aluminio nueva	0.2
Pintura blanca	0.2
Cobre pulido	0.34
Acero	0.45
Pintura bronce	0.51
Ladrillo rojo	0.55
Cemento	0.6
Acero galvanizado nuevo	0.65
Teja roja	0.67
Hormigón	0.8
Pintura negra	0.95

Coeficiente de absorción α

Este valor cambiará de acuerdo al color de la superficie expuesta.





¿PROBAMOS?



Realizar el balance térmico de un edificio de las siguientes características.

Edificio= Vivienda unifamiliar

Renovaciones= 1.5

Superficie cubierta= 80m^2

Volumen= 200m^3

GRUPO 1

Muros = ladrillón con revoque en ambos lados con aislación de 0.05m de espesor de poliestireno expandido (225m^2) y revoque de 0.03m.en ambos lados.

Cubierta = losa alivianada, aislación de 0.10m de espesor de poliestireno expandido.

Ventanas norte = 6m^2 (4 GSD y 2 INV)
oeste= 4m^2
sur= 2m^2

GRUPO 2

Muros = ladrillón con revoque en ambos lados sin aislación (225m^2) y revoque de 0.03m.en ambos lados.

Cubierta = losa alivianada, aislación de 0.025m de espesor de poliestireno expandido.

Ventanas norte = 4m^2
oeste= 4m^2
sur= 2m^2



$$+/- Q_c +/- Q_v + Q_s + Q_i + Q_m = 0$$

Datos necesarios

Radiación incidente:

$$\beta:90^\circ \chi: N = 582.7W$$

Temperatura exterior = -1°C

Temperatura de confort = 20°C

$$R_{se} = 0.17$$

$$R_{si} = 0.04$$

Conductividad materiales:

λ ladrillón: $0.82 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

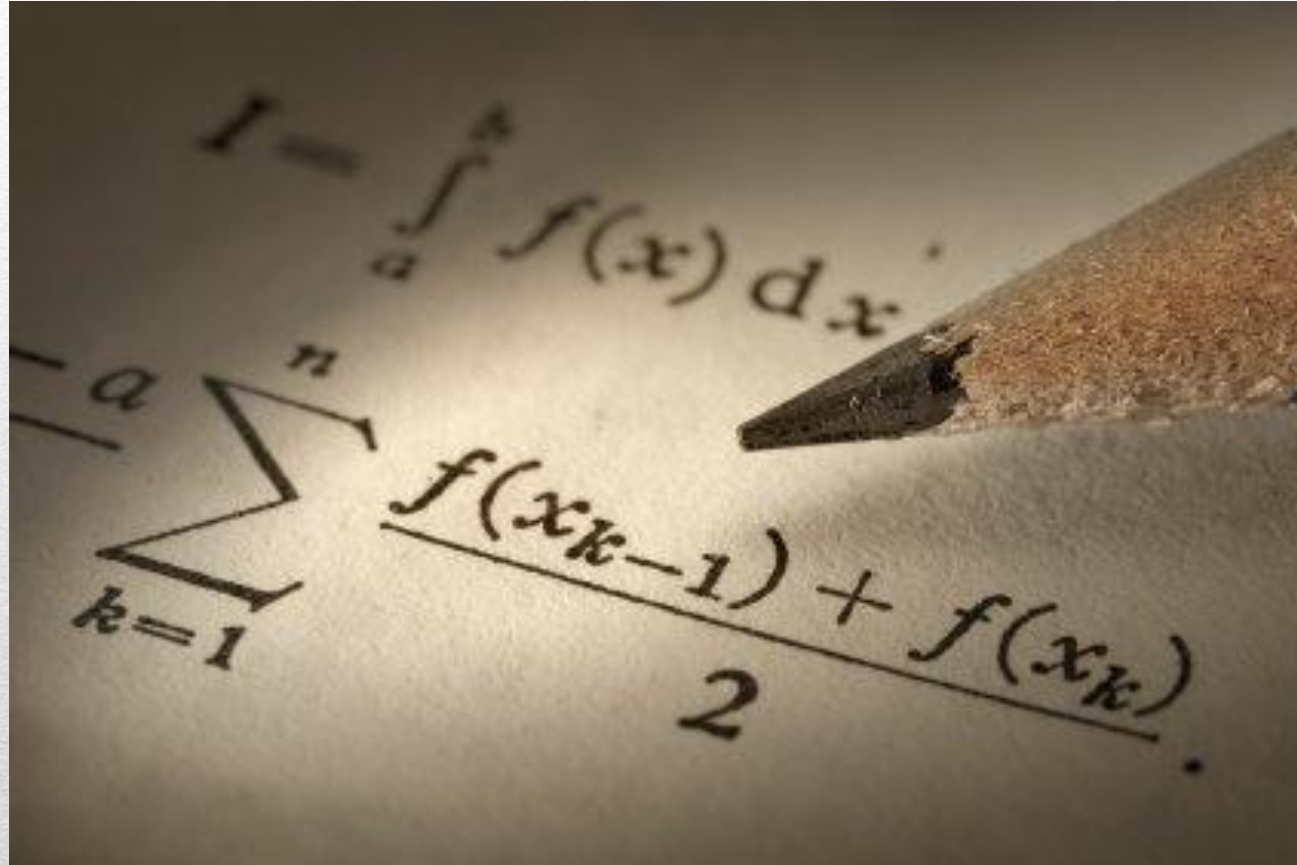
λ hormigón revoque: $1.16 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

λ poliestireno exp: $0.04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

λ hormigón armado: $1.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Transmitancia de ventanas:

U ventana DVH: $2.8 \text{ W/m}^2\text{C}$



BALANCE - VARIANTES de VERANO

Q_v = Ganancia o pérdida por infiltración y ventilación

$$Q_v = 0,33 * N * V * \Delta T$$

Donde:

N = número de renovaciones por hora de acuerdo al sistema de ventilación o enfriamiento.

V = volumen del espacio-edificio en estudio (m³)

ΔT = diferencia de temperaturas (°C)
(Text= temperatura media enero-diciembre)

0,33 = factor

Numéro de renovaciones por tipo de estrategia de ventilación	
Estrategia de ventilación	N
Ventilación cruzada	8 a 20
Ventilación por efecto chimenea	4 a 6
Ventilación por cámara solar	5 a 10
Torres de viento	3 a 6

BALANCE - VARIANTES de VERANO

Q_s = Ganancia solar

$$Q_{sd} = G A i_p$$

Donde:

G = radiación solar incidente en la ventana o elemento (W/ m²)

A = área de ventana o elemento (m²)

i_p = índice de protección

Índice por tipo de protección	
Vidrio transparente	1
Vidrio esmerilado o difuso	0.8
Cortinas interiores	0.5
Cortinas exteriores	0.3
Toldo de lona	0.2
Parasoles	0.2

Coeficiente de convección

El coeficiente de transferencia de calor por convección, depende de la velocidad del aire alrededor del cuerpo y se mide en $W/m^2 K$.

Clase de Convección	h $W/(m^2 K)$
convección natural, aire	de 5 a 50
convección natural, agua	de 10 a 100
convección forzada, aire	de 10 a 200
convección forzada, agua	de 50 a 10000

Tabla de magnitud de h_c para algunos de los procesos de convección

En el coeficiente h_c , interviene de manera directa la velocidad del aire. Éste es un parámetro importante para manipular la pérdida de calor del sistema hacia el ambiente.

Por recomendación de la norma ISO 77300, en ambientes habitables es conveniente que la velocidad del aire no supere los 0.2m/s.