



# INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO

DEPARTAMENTO : *TECNOLOGÍA DEL HORMIGON*

DIVISION : *Vivienda*

TITULO: Eficiencia energética del *hormigón para la Construcción de Viviendas Sostenibles*



## INTRODUCCION

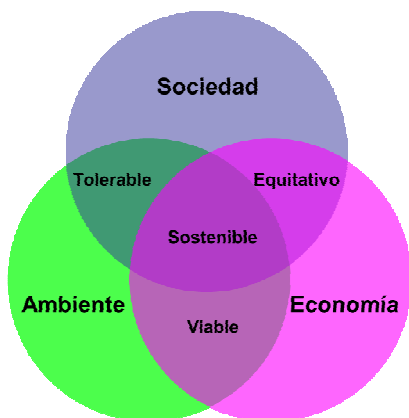
La toma de conciencia ambiental en la construcción civil es un tema de vital importancia, y en la actualidad se deben sumar los enfoques social y económico, aspectos que todos debemos aplicar a la hora de generar y utilizar servicios, sistemas y productos.

Los aspectos mencionados anteriormente no deben ser considerados en forma aislada, se debe actuar de manera integral, sin dejar de lado ningún criterio. Este modo de proceder se enmarca dentro del concepto de DESARROLLO SOSTENIBLE.

La definición clásica de desarrollo sostenible, enunciada en 1987 por la Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas (WCED) expresa:

*“Desarrollo sostenible es aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”*

Como fuera mencionado, el concepto de desarrollo sostenible no considera solamente el cuidado del ambiente, sino que integra los aspectos económicos y sociales, como así también la aceptación cultural. Por lo tanto puede indicarse que la sostenibilidad se apoya en 3 pilares fundamentales interrelacionados:



En el caso particular de la construcción, no es posible pensar en un desarrollo sostenible sin garantizar la provisión y el empleo de materiales locales, para minimizar el transporte de los mismos; actividad que implica además de aumento en los tiempos, un elevado consumo de combustible y por consiguiente mayor generación y emisión de gases de efecto invernadero.

La búsqueda e implementación de acciones e iniciativas que favorezcan el desarrollo sostenible en la construcción requiere además, un proceso integrado que contemple el conjunto de actividades que van desde la extracción de la materia prima hasta el final del ciclo de vida de la edificación.

El enfoque sostenible, actualmente se traduce en los llamados “EDIFICIOS VERDES”. Ellos poseen características que generan un bajo impacto ambiental en todas sus etapas de construcción o reforma, utilizando materiales reciclados, generando menores cantidades de residuos y presentando posteriormente durante la fase de uso, costos de mantenimiento inferiores, ya sea por ahorro de energía y agua, por mayor durabilidad o ambas.

Como conclusión de lo expuesto, puede decirse que el camino más equilibrado para lograr un desarrollo sostenible en la construcción es el que se conoce como “Camino de las 3R”:



### Contribución del cemento y sus aplicaciones a la dimensión ambiental de la sostenibilidad.

La principal aplicación del cemento está dada por ser el componente fundamental del hormigón; material que después del agua, es el de mayor consumo en el mundo. Por lo tanto, si se busca analizar el impacto ambiental del cemento, siempre está asociado al del hormigón.

*El hormigón es un producto clave para el desarrollo sostenible de la construcción, dado que brinda la posibilidad de crear las estructuras necesarias para mejorar la calidad de vida de la población.*



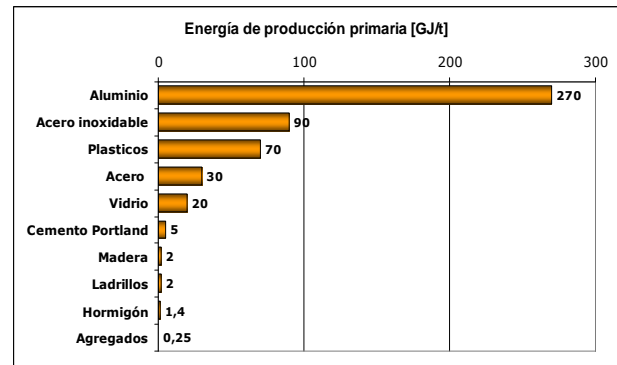
Se debe tener en cuenta que para su elaboración se emplea una importante cantidad de recursos naturales, por ello, es imperioso hacer un uso eficiente del mismo, diseñando hormigones durables y reciclándolo al final de su larga vida en servicio, con lo cual se reduce la necesidad de materiales vírgenes.

Una metodología utilizada para analizar el impacto que tiene un producto o servicio es a través de la cuantificación de la *energía incorporada* en su proceso. Se trata de un procedimiento cuyo fin es encontrar el valor total de la energía no recuperable utilizada para la extracción, transporte, manufactura de materias primas, montaje, instalación, operación y finalmente, desinstalación, demolición, reciclado y disposición de sus materiales componentes.

Como se observa en la figura 1, el hormigón es un material de construcción sostenible debido a su bajo nivel de energía incorporada. Su producción es eficiente y sus componentes requieren relativo bajo procesamiento.

### Ciclo de Vida

La manera más práctica de poner en evidencia los beneficios ambientales del hormigón, como motor del desarrollo sostenible, es mediante el análisis del ciclo de vida de una edificación.



**FIGURA 1: Energía necesaria para la producción de materiales usados en la construcción.**

Fuente: *Concrete's contribution to sustainable development - The Journal of Green Building 2008*

En el esquema de la figura 2 se muestran las fases principales en las que se debe prestar especial atención a la hora de planificar un proyecto aplicando un criterio sostenible. El análisis detallado de cada una de ellas, brinda un marco valioso para identificar el impacto ambiental, al igual que oportunidades de mejora en el ámbito socio-económico.

Existen dos aspectos importantes referidos a la energía para la producción: la *inicial* y la *utilizada durante la vida útil*. Para el caso del hormigón, la energía inicial incluye la requerida para la fabricación del cemento, extracción de agregados, elaboración del hormigón, transporte, colocación en obra y curado.

En el caso de la energía empleada durante su vida en servicio, se contempla la necesaria para el mantenimiento, operación, reparación, restauración, o reemplazo de materiales. Dado que el hormigón durable, requiere muy escaso mantenimiento a lo largo del tiempo, resultando que la energía empleada durante la fase de utilización del mismo es mínima.



FIGURA 2: Esquema del Ciclo de Vida de un Edificio

### Ventajas del Hormigón

Existen diversos y reconocidos sistemas constructivos que utilizan el hormigón como material principal; éstos combinan la aislación con una de las características más importantes que posee este material en lo referente a eficiencia energética en edificios: el concepto de **MASA TÉRMICA**.

Otros aspectos del hormigón que contribuyen a la dimensión ambiental de la sostenibilidad son:

- Su **DURABILIDAD** frente a las acciones del entorno, manifestada como la extensa vida útil que poseen las obras con mínimo mantenimiento.

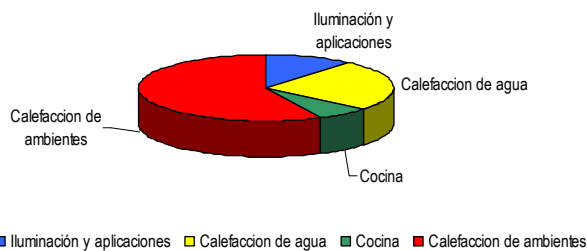
- Su buen **COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO**, brindando protección a las personas y a sus bienes.
- Su contribución para **REDUCIR EL EFECTO DE ISLA URBANA DE CALOR** gracias a su color claro.
- La posibilidad de utilizar **SUBPRODUCTOS INDUSTRIALES RECICLADOS** ya sea como adiciones incorporadas en el cemento o mediante su empleo como agregados alternativos, colaborando a reducir la energía utilizada en su producción.

Todas estas características contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente el CO<sub>2</sub>; y a minimizar la **HUELLA DE CARBONO**.

### Eficiencia energética en edificios

Diversos estudios demuestran que la energía utilizada en calefacción, iluminación y refrigeración de edificios alcanza aproximadamente el 90% de la total consumida, es decir que la insumida en la fase de construcción es inferior al 10% de la empleada durante toda la vida en servicio. Esto hace que la ocupación y uso de las viviendas sean las etapas en las que se producen los mayores niveles de emisión de GEIs, principalmente en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y por ello resulta esencial reducir el consumo de energía durante la fase de uso de los edificios mediante diseños adecuados y conductas responsables.

Un ejemplo del consumo de energía en un edificio residencial se muestra en la figura 3.



**FIGURA 3: Consumo de energía en una vivienda típica**

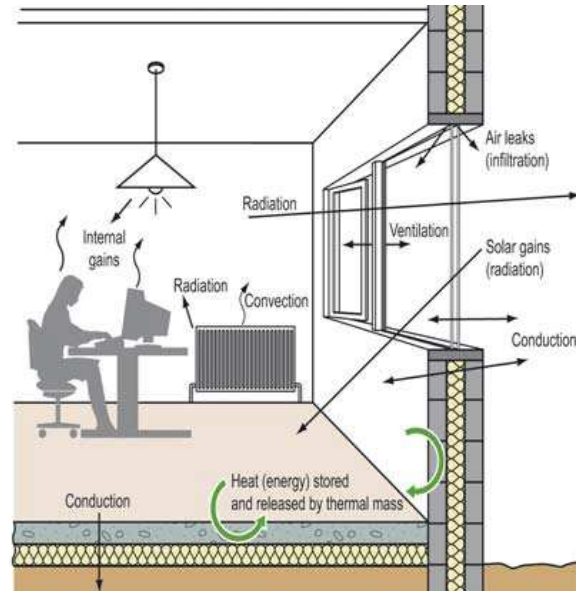
Fuente: *Concrete for energy-efficient buildings – European Concrete Platform*

Para poder construir edificios que sean confortables y eficientes en términos de energía, todos los flujos de calor, como así también los factores y parámetros que pueden intervenir en el balance energético deben ser tenidos en cuenta.

Los principios básicos de flujo de energía que se manifiestan a través de la envolvente de un edificio se muestran en la figura 4. Es muy importante entender como éstos interactúan dentro del ambiente para crear el clima que experimentamos en su interior. El estudio, control y manejo

eficiente de estos flujos permite reducir sensiblemente el consumo de energía.

Básicamente la energía calórica es transmitida por **conducción, convección y/o radiación**.



**FIGURA 4: Esquema de los flujos de energía**

Fuente: *Concrete for energy efficient buildings-The benefits of thermal mass-European Concrete Platform*

✓ La **conducción** se desarrolla a través de los materiales sólidos que forman la envolvente del edificio. La conductividad térmica depende del tipo de material, su espesor y su contenido de humedad.

✓ La **convección** se produce a través de los fluidos; en nuestro caso el aire, que al calentarse se mueve en forma ascendente. Su movimiento debe controlarse mediante el manejo de las ventilaciones, las infiltraciones y fugas de aire. Los edificios deben ser cada vez más herméticos a fin de evitar flujos no deseados.

✓ La **radiación** es la transmisión del calor a través de la emisión de ondas electromagnéticas por efecto de un gradiente de temperatura, desde un cuerpo hacia el entorno; afecta a todas las superficies expuestas al sol. Involucra fundamentalmente a las partes vidriadas y puede variar con la latitud del lugar y la orientación del edificio.

La dirección y magnitud de los flujos de calor pueden variar durante el día, a lo largo del año y también en función de la zona. Además, la presencia de personas y artefactos tiene un efecto muy marcado debido a la energía que emiten.

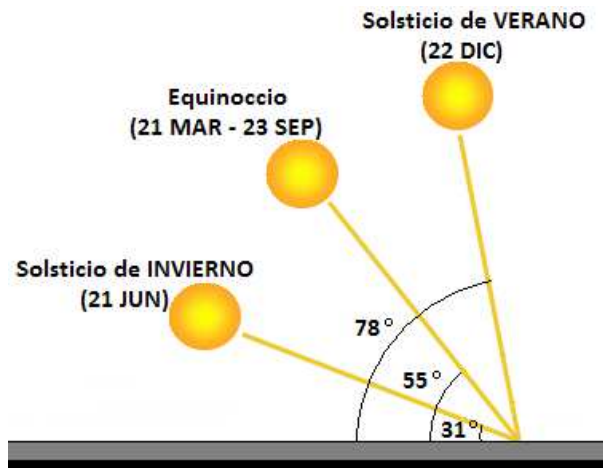
Analizando esto, prácticamente hay dos objetivos importantes en cuanto al desempeño energético en edificios:

- 1) Minimizar la cantidad de energía que consume.
- 2) Asegurar que mantenga una temperatura interior confortable para sus ocupantes, sin pérdidas ni ganancias no deseadas de calor.

Una manera de reducir la energía demandada en la fase de uso de las viviendas, es incorporar principios de diseño que capitalicen los beneficios de la energía solar, en las áreas de mayor tiempo de ocupación (**Diseño Solar Pasivo**). Se concreta orientando adecuadamente las aberturas, empleando aleros de manera tal que sean capaces de permitir el ingreso de los rayos solares en los meses más frescos, con una eficiente ventilación en los meses más calurosos.

La clave de una casa que es naturalmente cálida en invierno y fresca en verano es el efecto de la combinación de la rotación diurna de la Tierra alrededor de su propio eje, y de la inclinación de éste respecto de su órbita alrededor del sol. El primer fenómeno provoca los cambios entre el día y la noche, mientras que el segundo es el responsable que se experimentan entre el invierno y el verano.

Debido a este último patrón, la altura alcanzada por el sol al mediodía en verano es mayor a la que se registra en invierno, como se muestra en la figura 5:



**FIGURA 5: Incidencia del Sol en Buenos Aires**

*En el solsticio de Junio, cuando comienza el invierno, la altura del Sol al mediodía es de apenas 31°.*

*Transcurre el invierno y paulatinamente al mediodía la altura de nuestra estrella va aumentando hasta llegar a 55° en el equinoccio de Septiembre, cuando comienza la primavera en este hemisferio.*

*La primavera avanza y cuando llega el verano (solsticio de Diciembre), la altura del Sol es de 78°.*

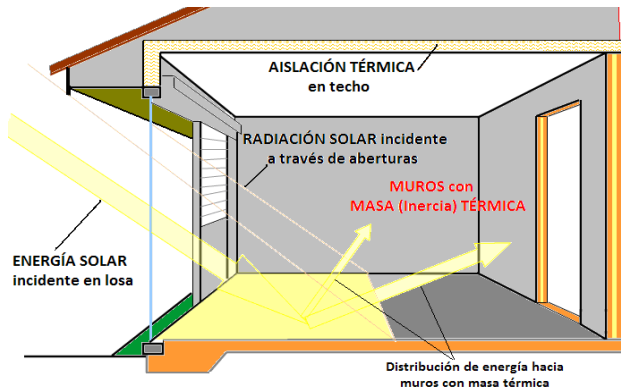
*El verano también avanza y cuando llega el equinoccio de Marzo otra vez el Sol estará a 55° sobre el horizonte al mediodía; tres meses después llega nuevamente el solsticio de Junio y el ciclo se repite.*

El diseño basado en el aprovechamiento de la energía solar incidente en la vivienda, se vale, en las zonas de clima templado a frío, de materiales de construcción de gran masa en combinación con otros de características aislantes, como por ejemplo, los paneles de hormigón para muros que incorporan aislantes en su interior.

Mediante diseños de este tipo, pueden lograrse mejores condiciones de habitabilidad, reduciendo la necesidad de calefaccionar o refrigerar un determinado ambiente por medios mecánicos o eléctricos, lo que implica una reducción de la demanda de energía.

Los pisos de hormigón, las paredes internas y externas compuestas por materiales sólidos, la orientación de las

ventanas, la ejecución de aleros y techos debidamente aislados son elementos a analizar, como se puede observar en la figura siguiente:



**FIGURA 6: Incidencia de la energía solar en distintos elementos que integran la envolvente de una vivienda.**

En zonas de gran amplitud térmica diaria, las viviendas son capaces de absorber la energía solar a través de las ventanas, y almacenarla en la gran masa de las losas, muros y techos, con la posibilidad de ser liberada sólo cuando la temperatura del aire disminuye a valores menores a los de estos elementos, mediante el mecanismo de la radiación. Este sistema utiliza la capacidad de almacenar calor (o masa térmica) del hormigón para moderar las temperaturas extremas tanto en verano como en invierno.

Una consideración adicional a tener en cuenta es la posición del norte geográfico, dado que la altitud del sol en el cielo varía conforme lo hace la latitud del lugar. Debido a esto, se debe prestar especial atención al ángulo de incidencia de los rayos solares en el interior del edificio.

**Masa Térmica**

La masa (o inercia) térmica se define como la capacidad de un material de absorber calor, almacenarlo, y posteriormente liberarlo, entregándolo al ambiente.

En general, a mayor peso específico de los materiales de construcción, mejor será su capacidad para almacenar grandes

cantidades de calor y en consecuencia tendrán una masa térmica elevada.

Proyectando la envolvente del edificio con materiales de considerable masa térmica, se pueden reducir las temperaturas extremas que experimentan los usuarios dentro de la vivienda. De esta manera, se logra que la temperatura interior promedio sea moderada a lo largo del año, y por consiguiente, en términos de habitabilidad, se obtiene un mejor nivel de confort.

Adicionalmente, la utilización de materiales con gran masa térmica puede reducir la energía necesaria para calefaccionar y refrigerar un local hasta un 25 %, comparado con una vivienda construida con materiales livianos, con baja masa térmica. (*Sustainable Energy Authority-Victoria*).

**TABLA 1 Materiales de Construcción y Masa térmica**

| MATERIAL                     | MASA TÉRMICA<br>Capacidad Volumétrica de Calor (kJ/m <sup>3</sup> .K) |
|------------------------------|---|
| Agua                         | 4186  |
| Hormigón                     | 2060  |
| Arenisca                     | 1800  |
| Bloque de tierra comprimida  | 1740  |
| Placa de Fibro-Cemento       | 1530  |
| Ladrillo                     | 1360  |
| Muro de Adobe                | 1300  |
| Bloques de Hormigón Livianos | 550   |

*Fuente: Passive Solar Design – CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA*

La masa térmica es particularmente importante para el confort en climas donde las temperaturas de verano son altas y existe una gran amplitud térmica, no siendo tan importante, pero sí beneficiosa, en zonas donde las temperaturas en verano no son tan elevadas. Si la propiedad no es bien manejada, en determinadas situaciones donde el ingreso de luz solar a la vivienda es limitado, la masa térmica podría aumentar

los requerimientos de calefacción en invierno.

Las características más relevantes deseadas en los materiales con gran masa térmica son:

**Alta Densidad** – Cuanto más denso, mayor es su masa térmica-

**Buena Conductividad Térmica** – El material debe permitir que el calor fluya a través suyo, pero si la conductividad es demasiado grande, la energía absorbida es liberada tan rápidamente que no permite el efecto de acumulación requerido.

**Baja Reflectividad** – Las superficies oscuras, de color mate o con textura, absorben mayor cantidad de energía que las luminosas, suaves y reflectantes. Un buen diseño por ejemplo, permite que el piso refleje cierta cantidad de energía hacia un muro de alta masa térmica, a fin de optimizar su capacidad de almacenar calor.

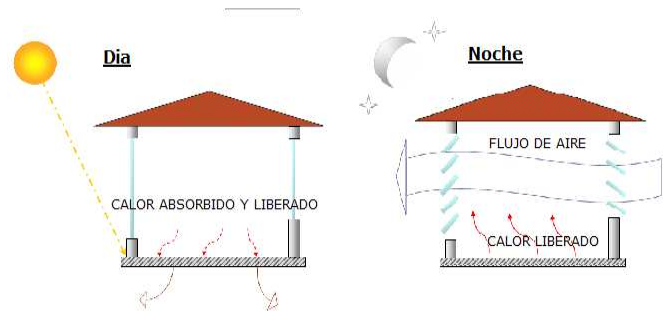
**Comportamiento y efectos estacionales de la MASA TÉRMICA.**

**Verano**

Inicialmente, el material con gran masa térmica posee una temperatura menor a la del aire circundante, por lo tanto actúa como un disipador. Al absorber calor de la atmósfera, la temperatura del aire interior es menor durante el día, dando como resultado una mejora en el confort sin necesidad de un sistema de acondicionamiento de aire adicional (figura 7).

Durante la noche, el calor es lentamente liberado hacia las corrientes frescas provenientes de la ventilación natural, o expulsado mediante extractores de aire o simplemente es entregado hacia el interior del ambiente. Las temperaturas internas durante la noche pueden ser ligeramente mayores que si se hubieran empleado materiales con poca masa térmica; sin embargo, con las menores temperaturas que naturalmente se

experimentan en las horas nocturnas, es esperable que éstas se encuentren dentro de la zona de confort.



**Figura 7: Esquema del funcionamiento de la Masa Térmica en VERANO**

La capacidad de la masa térmica de nivelar las fluctuaciones en las temperaturas interiores, se muestra a modo de ejemplo en el gráfico de la figura 5. Un diseño adecuado de aleros y ventilaciones permite reducir las ganancias de calor y mejorar su disipación.

**Invierno**

En el hemisferio sur, la masa térmica en pisos o muros absorbe el calor irradiado por el sol a través de las ventanas con orientación norte, este y oeste. Durante la noche, el calor es gradualmente liberado en la habitación, a medida que la temperatura del aire interior disminuye. Esto mantiene una temperatura temporalmente confortable, reduciendo la necesidad de calefacción suplementaria mediante estufas u otro sistema. Adicionalmente, parte del calor proveniente de estos artefactos puede ser almacenado en los elementos que tienen esta propiedad. Horas después que se apaga la calefacción, la lenta liberación del calor acumulado mantiene una temperatura confortable en el ambiente, figura 8.



**Figura 8: Esquema del funcionamiento de la Masa Térmica en INVIERNO**



### Consideraciones finales

Es necesario disponer de grandes áreas de aberturas bien orientadas y con aleros que regulen la sombra para que funcione adecuadamente el sistema.

La masa térmica del hormigón reduce el consumo de energía al moderar la necesidad de calefacción y de refrigeración del edificio. Dicha inercia térmica produce el efecto de amortiguar la temperatura, pudiendo reducir hasta entre 6 y 8 °C la diferencia entre su valor exterior e interior y retrasando el comienzo de los picos, tal como se representa en la figura 9, manteniendo un ambiente interior térmicamente más estable y confortable.

Esta característica colabora con la reducción de los gastos de operación de una vivienda. Por lo tanto, ayuda a lograr una equidad social a través de la provisión de costos más accesibles. Adicionalmente, la estabilidad térmica que se logra en el interior de las viviendas de hormigón con un diseño adecuado contribuye a proporcionar viviendas más confortables y de mejor calidad, lo que implica un aumento en valor de reventa del inmueble.

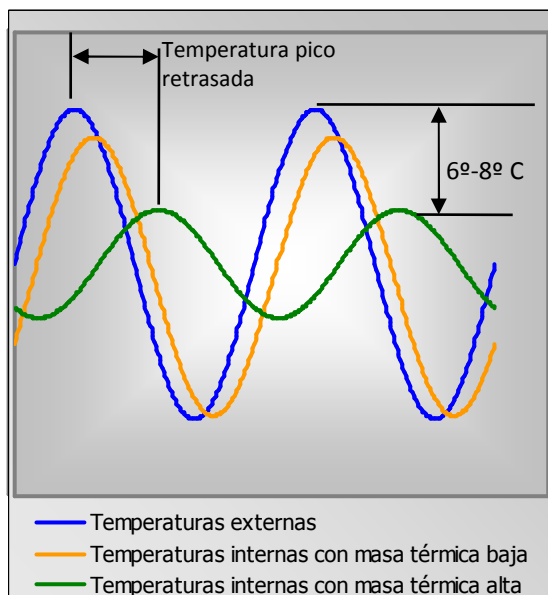


FIGURA 9: Evolución diaria de las temperaturas

Otro beneficio es un menor costo de inversión asociado con sistemas de calefacción más simples, ventilación y equipos de acondicionamiento de aire, y menores costos de operación vinculados.

En cuanto a los beneficios referidos al entorno, puede decirse que una de las principales ventajas de utilizar y optimizar la masa térmica propia del hormigón es la reducción de emisión de gases de efecto invernadero debido al ahorro de energía que se puede experimentar a lo largo de la vida en servicio de la edificación.

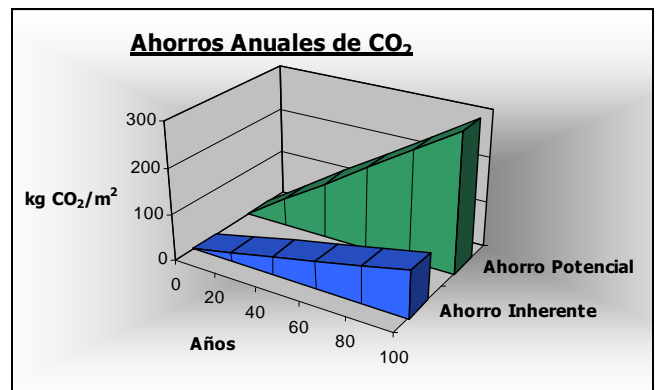


FIGURA 10: Ahorros de CO<sub>2</sub> por Masa Térmica  
Fuente: Concrete for energy-efficient buildings  
EUROPEAN CONCRETE PLATFORM

**Dado que una proporción importante de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de las viviendas y éstas poseen una larga vida útil, una pequeña disminución en su consumo de energía produce ahorros muy significativos.**

Los ahorros inherentes mostrados en la figura 10, se obtienen solamente considerando una elevada inercia térmica en un edificio, mientras que los potenciales se logran con un diseño pensado y optimizado para maximizar la eficiencia energética.