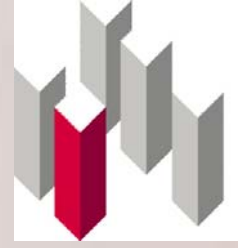




**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE  
VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN**



**PROYECTO FINAL DE CARRERA  
"HORMIGÓN TRANSLÚCIDO CON  
FIBRA ÓPTICA"**



**JUNIO 2011**

**Alumno: M<sup>a</sup> CRUZ MARTÍNEZ BOSCH**

**Tutor: LUÍS V. GARCÍA BALLESTER**



PROYECTO FINAL DE CARRERA  
HORMIGÓN TRASLUCIDO CON FIBRA ÓPTICA

---



## ÍNDICE

<b>1.- PRESENTACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.- OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>3.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>4.- ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>11</b>
4.1.- Antecedentes históricos.....	12
4.2.- Tipologías de hormigón translúcido.....	14
4.3.- Cuadro comparativo de las tipologías de h.t.....	19
4.4.- Materiales empleados en los hormigones.....	20
4.4.1.- Árido grueso.....	20
4.4.2.- Árido fino.....	21
4.4.3.- Cemento.....	22
4.4.4.- Agua.....	23
4.4.5.- Aditivos.....	23
4.4.6.- Dosificación del hormigón.....	24
4.4.7.- Fibra óptica.....	25
4.5- Tipos de hormigón.....	34
4.6.- Características del hormigón translúcido.....	37
4.7.- Métodos de ensayo.....	38
<b>5.- PLAN EXPERIMENTAL.....</b>	<b>42</b>
5.1.- Descripción de la experimentación.....	43
5.2.- Dosificación del hormigón.....	43
5.3.- Realización de probetas.....	45



<b>5.4.- Equipo experimental.....</b>	<b>47</b>
<b>5.5.- Ensayos a realizar.....</b>	<b>49</b>
<b>5.6.- Realización de paneles.....</b>	<b>51</b>
<b>6.- RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
<b>7.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>8.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>9.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>10.- ANEJOS.....</b>	<b>62</b>



# 1.- PRESENTACIÓN



El presente proyecto ha consistido en la investigación del hormigón translúcido, para su posible utilización como paneles en particiones interiores. Para llevarlo a cabo se ha propuesto un programa experimental, que será detallado en profundidad más adelante.

Puesto que ha sido imposible la realización del método experimental por la falta de uno de los componentes principales del material a estudiar, como más adelante explicaremos, se expondrá el proceso que estaba previsto realizar, pero no se podrán mostrar los resultados a los ensayos que se pensaban llevar a cabo.

Por último se redactan las conclusiones que podemos extraer sobre el estudio de este material, y las posibles futuras líneas de investigación a seguir para llegar a un conocimiento más extenso de este material.



## **2.- OBJETIVOS**



## Introducción

La idea de realizar este proyecto surge de la necesidad de poder fabricar hormigón translúcido para su posterior aplicación como paneles prefabricados. El problema para su fabricación llega en el momento en el que se intentan realizar los encofrados para su realización, y en este punto en donde principalmente basaremos el estudio para la realización de este proyecto.

## Objetivos

Los objetivos generales para la realización de este proyecto serán el estudio de las características y composición del hormigón translúcido para su fabricación en el sector de la prefabricación, para lo cual se van a estudiar dosificaciones con diferentes contenidos de fibra óptica, y la influencia que estas fibras pueden tener en la puesta en obra o vertido del hormigón, y si fuera posible diseñar un encofrado que permita su aplicación industrial.

Para llevar a cabo nuestros objetivos realizaremos las siguientes fases:







## **3.- INTRODUCCIÓN**



El objetivo principal de este proyecto se basa en el estudio de uno de los materiales más utilizados en construcción, pero reinventado: el hormigón translúcido.

El hormigón es un material cuya fabricación y uso en construcción se remonta al tiempo de la Antigua Roma, época en la que ya se conocían las propiedades de compresión y resistencia que podía adquirir la ceniza volcánica al mezclarse con cal y agua. Posteriormente, incorporaron diferentes materiales a la mezcla obteniendo así distintas propiedades que podían ser usadas en diferentes construcciones de acuerdo al objetivo de cada una de ellas.

El hormigón siempre se ha conocido como un material compuesto por piedras menudas, cemento, arena y agua, y en ocasiones aditivos o adiciones que mejoran algunas de sus propiedades, como pueden ser los colorantes, aceleradores o retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras...

De esta mezcla se obtiene un material muy resistente a los esfuerzos de compresión, aunque con un comportamiento algo peor a esfuerzos de tracción, flexión y cortante, es opaco, macizo y muy compacto.

El hormigón es un material que a la par que es muy antiguo, está en constante cambio y estudio para intentar mejorar sus propiedades frente a los diferentes problemas que surgen y a las nuevas formas de construcción que se innovan con el paso del tiempo.

La principal característica del hormigón translúcido es que deja pasar la luz, ya que a los componentes del hormigón tradicional se han añadido fibras ópticas.

Antes de entrar de lleno en el tema aclaremos lo que se entiende por translucidez, y su principal diferencia con la transparencia:

Un material presenta **transparencia** cuando deja pasar fácilmente la luz. La transparencia es una propiedad óptica de la materia.



Generalmente se dice que un material es transparente cuando es transparente a la luz visible.

Se dice, en cambio, que un material es **translúcido** cuando deja pasar la luz de manera que las formas se hacen irreconocibles, y que es **opaco** cuando no deja pasar apreciablemente la luz.

A continuación veremos todos los componentes que forman el hormigón translúcido y sus características más importantes, así como las diferentes propiedades de este hormigón.



## **4.- ESTADO DEL ARTE**



#### **4.1.- Antecedentes históricos**

La historia de este novedoso material comienza hace tan solo 12 años, cuando en 1999 el arquitecto estadounidense **Bill Price** creó la primera muestra de hormigón translúcido. Esta primera muestra fue creada a base de pedazos de vidrio y plástico translúcido. Para poner en marcha su proyecto, fabricó una maqueta de un teatro a escala y comenzó a planificar este nuevo invento. Sin embargo, a pesar de lo novedoso de la propuesta de Price, surgieron algunos problemas que ponían en duda la posibilidad real de obtener un material con estas características.

Consecutivamente, en otras partes del mundo otros investigadores trabajaban bajo estas nociones de transparencia en el material sólido de construcción y hacían sus respectivas propuestas de mezcla de materiales que serían capaces de permitir el paso de la luz a través de estas estructuras, sin menguar el volumen y resistencia del material.

A pesar de estos antecedentes la invención del hormigón translúcido se le atribuye a **Aaron Losonczi**, un joven arquitecto Húngaro, que consiguió patentar este producto en 2002, y crear su propia compañía. En esta patente Losoczi utilizó fibras ópticas embebidas en el hormigón como forma de transmisión de la luz.

En 2002, se diseñó para un concurso un pavimento iluminado en una plaza de Estocolmo, durante el día las baldosas de la plaza tienen el aspecto normal de baldosas de hormigón, pero al caer la noche se iluminan dando a la plaza un aspecto singular.

En el año 2004, es la primera vez en que se utiliza este material para llevar a cabo un diseño, una lámpara conocida con el nombre de LTC Lamp, de la cual solo se han fabricado 1000 unidades.



Fig 1. Hormigón translúcido

**Will Wittig** es otro arquitecto que trabaja en el tema del hormigón translúcido. Es profesor de la Universidad de Detroit Mercy y estuvo a la cabeza de una importante muestra donde se podía apreciar en terreno las virtudes del hormigón hecho a base de plástico, en el Museo Nacional de la Construcción de Washington D.C.

A su vez, hay otra variedad que comparte nombre con este, por poseer la misma y principal característica de este, la translucidez.

Esta otra variedad fue inventada en 2005 por dos estudiantes de ingeniería civil de Mexico, **Joel Sosa y Sergio Galván**. En este caso se trata de un mortero polimérico, a base de cemento Portland, al igual



que un mortero tradicional, pero con un elemento nuevo llamado Ilun, que es el que le confiere la propiedad de la translucidez.

En la actualidad se está investigando sobre el tema, ya que es un material del cual se posee muy poca información, y que aún se encuentra en fase de estudio.

#### **4.2.- Tipologías de hormigón translúcido**

Una de los grandes conflictos que se le presenta a los arquitectos a la hora de planificar una estructura es el tema de la solidez contra la luminosidad. Llevar a la práctica ambos conceptos dentro de un mismo proyecto arquitectónico podía resultar complicado, aunque para ello existen alternativas como las que pasamos a describir a continuación.

##### **- Pavés**

El pavés está conformado por dos bloques gruesos de cristal, unidos entre sí mediante un proceso de vacío en el espacio interno para eliminar todo el aire, logrando que se convierta en un gran aislante térmico y sonoro.

Las paredes de pavés nunca se han considerado como un hormigón translúcido, aunque se podría considerar como el antecedente más antiguo de este, ya que al igual que el hormigón, constan de cemento, arena y agua para realizar la mezcla que unirá las piezas de cristales de pavés, que se pueden considerar como el árido grueso del hormigón, aunque existen diferencias por las cuales no se puede considerar como hormigón translúcido, estas diferencias son las siguientes:

- A pesar de que sus componentes son los mismos, no se realiza la mezcla de todos sus componentes y luego se realiza el elemento deseado, sino que se va conformando a medida que avanza la construcción del propio elemento.



- Las paredes de pavés no tienen función estructural, mientras que una partición realizada con hormigón, puede tener función estructural y resistir esfuerzos.

### **- Hormigón translúcido manual**

Los estudiantes de ingeniería civil Joel Sosa Gutiérrez de 26 años y Sergio Omar Galván Cáceres de 25 años, de procedencia mejicana, crearon en el 2005 el hormigón translúcido.

Según el folleto comercial del producto, su fabricación es igual a la del hormigón común. Para ello se emplea cemento blanco, agregados finos, agregados gruesos, fibras de vidrio, agua y algunos aditivos extras.

El aditivo "ilum" es único en el mundo, ya que le confiere al hormigón 15 veces más resistencia 4,500Kg./cm<sup>2</sup> con nula absorción de agua, permite el paso de la luz, es translúcido, tiene un peso volumétrico 30 por ciento inferior al comercial y puede ser colado bajo el agua.

La matriz utilizada en la formulación de este hormigón fue del tipo aglutinante, para darle la rigidez necesaria, pero puede ser cualquier matriz o aglutinante polimérico. En la formulación también se utiliza cemento tipo Portland, preferentemente blanco.

Los agregados utilizados en la fabricación y formulación fueron fibras de vidrio, sílice, sílice sol coloidal y fibras ópticas. También pueden utilizarse elementos pétreos como agregados, por ejemplo gravas, arenas, etc.

La matriz o aglutinante epoxídico utilizado para la formulación de este hormigón, es el éter diglicídico del bisfenol A (DGEBA), que es deshidratado a vacío a 80° C durante 8 horas antes de su empleo.





El endurecedor utilizado es dietilentriamina (DETA), que debe ser deshidratada sobre tamices moleculares antes de su empleo.

Se utilizaron fibras de vidrio de hilos cortados, y fibras molidas de longitudes mayores a los 0.02 mm., con la función de mejorar las resistencias a compresión, flexión, tensión y torsión.

Las fibras ópticas utilizadas en la formulación de este hormigón son, un fino hilo de vidrio o plástico que guía la luz. Los tipos de fibras utilizadas son fibras monomodo y vírgenes, es decir, en su estado puro y sin recubrimientos cuya finalidad es hacer que transcurra más fácilmente la luz a través del hormigón.

Como aditivos se usan pigmentos; agentes antiestáticos para eliminar la electricidad estática; agentes de puente para favorecer la unión a la matriz y dar resistencia y protección contra el envejecimiento; agentes lubricantes para dar protección superficial y agentes fumógenos colantes para dar integridad, rigidez, protección e impregnación, sales metálicas, agentes tixotrópicos (hojuelas de materiales inorgánicos, microesferas de vidrio, carbonates de calcio, dióxido de silicio, etc.), agentes retardadores de llama (elementos que contienen cloro, bromo, fósforo, etc. ), y agentes de protección UV (estabilizadores).

Sílica sol, también conocido como hidrosol de sílice, es una solución coloidal de alta hidratación molecular de partículas de sílice dispersas en agua. Es inodoro, insípido y no tóxico. Su fórmula química molecular es  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Su función es servir como desecante, agente de vínculo, adhesivo y dispersante.

La sílice entre un 0.5 y un 10 % del peso de la resina, deberá de utilizarse para que una vez fraguado, proporcione una mayor resistencia y dureza al hormigón.

Las características mecánicas como la resistencia a compresión de un hormigón translúcido con matriz epoxi (bisfenol - A) es de hasta 220 MPa. Además de que deja pasar la luz sin distorsión alguna.

Las características mecánicas como la resistencia a compresión de un hormigón translúcido con matriz policarbonatada es de hasta 202 MPa, además de que deja pasar la luz sin distorsión alguna. Es de apreciarse la buena dispersión de los agregados, aditivos y sobre todo, de la matriz. La dirección de las capas es paralela a la dirección del vaciado. Tiene un secado laminar en el mismo sentido en que es colado. Presenta una buena cristalización en las partes más altas, y decrece un poco al acercarse al extremo inferior.



Fig 2. Hormigón trasnlúcido manual

### - Litracón (Light Translucent Concrete)

El arquitecto Aron Losonczy ha desarrollado un nuevo tipo de material traslúcido que crea bellos juegos de luces y formas.

Es un hormigón tradicional con un arreglo tridimensional de fibras ópticas y/o fibras de vidrio. Para formarlo se utilizan miles de fibras ópticas con diámetros que van de dos micrones a dos milímetros, las cuales se ordenan en capas o celdas.

Litracón es una combinación de fibras ópticas que puede ser producido en bloques y paneles prefabricados. La mezcla de fibras crea una especie de cristal fino dentro de los bloques que permite transferir la luz a través del muro, creando los efectos muy interesantes con la luz.



Fig 3. Hormigón translúcido Litracón

Una pared realizada con LitraCon tiene la solidez y resistencia del hormigón tradicional y además, gracias a las fibras de cristal que se han incorporado, tiene la posibilidad de permitir visualizar las siluetas del espacio exterior. Miles de fibras ópticas forman una matriz, y corren entre si en forma paralela, entre las dos superficies principales de cada bloque. Las fibras se integran en el hormigón como añadido y la superficie obtenida sigue recordando al hormigón homogéneo. El material es translúcido porque las fibras de vidrio llevan la luz en forma de pequeños puntos a partir de una cara iluminado a la cara del bloque opuesto. Debido a los millares de fibras ópticas paralelas, la imagen del lado más claro de la pared aparece en el lado más oscuro sin ningún



cambio. En teoría, una pared construida con esta nueva tecnología podría tener hasta 20 metros de espesor sin reducir la capacidad característica de las fibras ópticas de transmitir la luz.

#### **4.3.- Cuadro comparativo de las diferentes tipologías**

LITRACÓN	H.TRANSLÚCIDO MANUAL
Su creador es Aaron Losonczy	Creadores: Joel Sosa y Sergio Omar Galván
Compuesto por hormigón tradicional + fibras ópticas	Cemento blanco, agregado fino, agregado grueso, fibras, agua y aditivo "Ilum"
Pieza más grande 30x60 cm	Pasta translucida acoplable a volúmenes
Resistencia de 250 a 900 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia de 2500 a 4500 kg/cm <sup>2</sup>
Peso volumétrico 2100 a 2400 kg/m <sup>3</sup>	Peso volumétrico 1900 a 2100 kg/m <sup>3</sup>
Permite ver reflejos de siluetas del otro lado	Permite paso de luz hasta 70%
Resistencia final alcanzada a los 28 días	Resistencia final alcanzada en 7 días



#### **4.4.- Materiales empleados en los hormigones**

Para poder escoger los materiales que utilizaremos para la fabricación del hormigón translúcido, debemos realizar un estudio previo sobre todas las posibilidades de que disponemos, atendiendo a sus características, para posteriormente poder realizar la elección que permita que las especificaciones del hormigón a realizar sean las deseadas.

##### **4.4.1.- Áridos gruesos**

Una de las cosas que hay que tener en cuenta a la hora de fabricar un hormigón es la elección del árido grueso a emplear.

Dependiendo de su origen podemos encontrar:

- Áridos naturales rodados: que nos proporcionan una mayor resistencia a compresión, mejor trabajabilidad, menos cantidad de agua y mayor limpieza.
- Áridos naturales triturados: que nos proporcionan una mayor resistencia a tracción, mayor adherencia y menor trabajabilidad.
- Áridos artificiales.

Para realizar la elección del árido hay que considerar también que debe asegurarse para el hormigón resultante una buena durabilidad, que sea estable y no se altere por el ambiente, una buena adherencia del árido a la pasta de cemento, facilidad de la puesta en obra del hormigón, y que no se produzca segregación.

El tamaño máximo del árido grueso será menor que 0,25 de la dimensión mínima de la pieza a hormigonar. Cuanto mayor es el tamaño máximo del árido, es necesaria menos agua para el amasado, y menor contenido de cemento para una resistencia dada del hormigón.

También hay que fijarse en la granulometría, se debe asegurar una graduación de tamaños que reduzca los huecos, y una limitación de los



finos que precisan un mayor aporte de agua. La granulometría y la forma del árido deben mantenerse constantes durante la fabricación del hormigón. Las granulometrías pueden ser, continuas, es decir, con todos los tamaños de áridos, que proporciona un hormigón más regular, compacto y resistente, o discontinuas, es decir, que faltan tamaños entre medias.

#### **4.4.2.- Áridos finos ( Arena )**

También son importante para la fabricación del hormigón los siguientes aspectos a destacar de la arena.

Se considera árido fino, cuando su tamaño es inferior a 4,75 mm. Los áridos finos se pueden clasificar según su tamaño en:

- Arena fina: sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidas por otro de 0,25 mm.
- Arena media: sus granos pasan por un tamiz de 2,5 mm y son retenidos por otro de 1 mm.
- Arena gruesa: sus granos pasan por un tamiz de 5 mm y son retenidos por otro de 2,5 mm.

Las arenas de granos gruesos dan lugar a morteros más resistentes que al utilizar arenas finas, pero tienen el inconveniente de necesitar mucha más pasta de conglomerante para rellenar sus huecos. Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave requiere menor cantidad de agua de mezclado.

Las experiencias indican que las arenas finas producen hormigones con consistencia pegajosa y de difícil compactabilidad. Las medias y las gruesas dan mejor resultado en cuanto a trabajabilidad y resistencia a compresión.



#### **4.4.3.- Cemento**

Los tipos de cementos que se pueden distinguir según la norma UNE-EN 197-1:2000 sobre cementos comunes son los siguientes:

<b>Tipo de cemento</b>	<b>Denominación</b>	<b>Designación</b>
I	Cemento portland	CEM I
II	Cemento portland con aditivos	CEM II
III	Cemento portland con escorias de alto horno	CEM III
IV	Cemento puzolánico	CEM IV
V	Cemento compuesto	CEM V

- Cemento tipo I: Cemento portland destinado a obras de hormigón en general, cuando en la misma no se especifique la utilización de otro tipo (edificios, estructuras industriales...)

Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento

- Cemento tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento portland destinado a obras de hormigón en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos, o donde se requiera moderado calor de hidratación (tuberías de hormigón, puentes...)
- Cemento tipo III: Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de hormigón reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.
- Cemento tipo IV: Cuando se requiere bajo calor de hidratación y no deben producirse dilataciones durante el fraguado
- Cemento tipo V: Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas...)



#### **4.4.4.- Agua**

La función del agua en la mezcla es conferir plasticidad para que el hormigón sea trabajable y provocar la reacción química que produce el fraguado.

#### **4.4.5.- Aditivos**

Los aditivos son materiales que se incorporan al hormigón para mejorar o modificar sus propiedades. Pueden ser de varios tipos, ahora comentaremos las más utilizadas, y que serían útiles para las características que debe poseer nuestro tipo de hormigón.

- **Plastificantes:** Se definen como aditivos que permiten, para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua en un hormigón dado o que, para una misma cantidad de agua aumenta considerablemente esta docilidad o ,incluso permiten obtener ambos efectos simultáneamente. El aumento de docilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con alta densidad de armadura o con efectos superficiales especiales sin necesidad de incrementar la cantidad de agua de amasado y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias especificadas. La disminución de la dosis de agua y en consecuencia la relación agua-cemento, manteniendo una determinada trabajabilidad, permite aumentar la compacidad del hormigón y, por consiguiente su resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Por la misma razón, la retracción y en consecuencia, la tendencia a la fisuración se ven disminuidas.

- **Aceleradores del fraguado:** Son productos que adelantan el inicio de fraguado y aceleran el endurecimiento, permitiendo la obtención de resistencias más altas a edades tempranas. Los aceleradores producen un aumento de la resistencia inicial del hormigón, principalmente en los primeros días, acortando, además, los tiempos inicial y final de fraguado. Por estas características, los





aceleradores son utilizados cuando se desea reducir el tiempo de espera para la puesta en servicio de un elemento estructural, y para atenuar el efecto retardador producido sobre las resistencias iniciales del hormigón en los períodos de baja temperatura.

– **Incorporador de Aire:** es un aditivo especialmente diseñado para incorporar microburbujas de aire al hormigón, lo que permite un hormigón con una alta resistencia a los ciclos hielo – deshielo, mayor trabajabilidad y menores riesgos de exudación

– **Inhibidor de Retracción:** reduce en forma significativa la fisuración por retracción plástica y de secado.

– **Aditivo Expansor:** es un aditivo diseñado para hormigones que necesiten propiedades expansivas, produce un efecto plastificante en las mezclas, consiguiéndose una mejor introducción de ellas en grietas y nidos de piedras.

– **Plastificante Reductor de Agua:** Su principal característica es la importante reducción de agua, permitiendo una gran economía de cemento para una resistencia especificada.

#### **4.4.6.- Dosificación del hormigón**

La dosificación del hormigón es la determinación de las proporciones en que han de mezclarse los componentes que constituyen un hormigón.

La dosificación se preparará teniendo en cuenta lo indicado en el artículo 68 de la EHE.

La cantidad mínima necesaria de cemento por metro cúbico de hormigón depende, en particular, del tamaño de los áridos, debiendo ser más elevada a medida que disminuye dicho tamaño, y más reducida a medida que aumenta el tamaño de éstos.



El peligro de emplear mezclas muy ricas en cemento, reside en los fuertes valores que, en tales casos, pueden alcanzar la retracción y el calor de fraguado en las primeras edades. No obstante, si se atiende cuidadosamente a otros factores que también influyen en estos fenómenos, tales como el tipo y clase del cemento, la relación agua/cemento, el proceso de curado, etc., es posible emplear proporciones más elevadas de cemento efectuando las comprobaciones experimentales correspondientes. Por ello se admite rebasar la cifra de  $400 \text{ kg/m}^3$  en circunstancias especiales, en las que, como ocurre en ciertos casos de prefabricación, se cuidan y controlan al máximo todos los detalles relativos a los materiales, granulometrías, dosificación, ejecución y curado final.

La relación agua/cemento es un factor importante en la durabilidad del hormigón y por ello deberá ser tan baja como sea posible, y nunca superior a los valores límites establecidos por razones de durabilidad. Sin embargo, relaciones agua/cemento bajas, deben ser compatibles con una adecuada trabajabilidad del hormigón que permita su adecuada compactación y minimice los fenómenos de segregación, lo que requerirá, en ocasiones, la utilización de contenidos de cemento superiores a los estrictamente necesarios, o bien el empleo de aditivos reductores de agua.

#### **4.4.7.- Fibra óptica**

Una definición general de la fibra óptica, dado su diversidad de uso, puede resumirse en que es un conductor de ondas (en este caso luminosas) en forma de filamento. Los haces de luz penetran la fibra la cual posee una reflexión total interna. La mayor explotación de la fibra óptica se ha generado en área de las telecomunicaciones, debido a su rápida conducción de ondas y su capacidad para enviar grandes cantidades de datos. Otros usos de la fibra óptica son la medicina,



iluminación, arqueología, inspección de piezas, sensores, aplicaciones militares, entre otras.

Los orígenes de la fibra óptica aparecen cuando el físico irlandés John Tyndall descubre que la luz es capaz de viajar dentro de un material curvado por la reflexión interna total. La invención se le otorga al físico Narinder Singh Kapanyl, que en 1952 realiza experimentos que lo llevan a descubrir la fibra óptica.

Con este descubrimiento nacen sus primeros usos; como usar un haz de fibras para la transmisión de imágenes, dando paso al endoscopio médico o la primera transmisión telefónica en 6 Mbit/s, el 22 de abril de 1977, por General Telephone and Electronics.

Luego con la popularidad del invento nacen otros como el amplificador de fibra, siendo el inventado por David Payne, y Emmanuel (amplificador de fibra con Erblio) el de mayor relevancia.

### **Características de la fibra óptica**

La mayoría de las fibras ópticas están hechas de arena o sílice, materias primas abundantes en relación al cobre (anterior transmisor).

Su funcionamiento se basa en transmitir el haz luminoso a través del núcleo de la fibra, evitando que éste lo atraviese, de manera que se refleje y continúe viajando por el interior del núcleo.

Cuando un haz de luz que se propaga por un medio y traspasa a otro distinto una parte del haz luminoso se refleja y otra se refracta (cambio de dirección y velocidad). Para conocer esta desviación, se debe conocer el índice de refracción.

$$n = c_0 / v$$

n- índice de refracción

c<sub>0</sub>- velocidad de la luz en el vacío (3x10<sup>8</sup> m/s)

v- velocidad de la luz en el medio en cuestión

Además de esto, para que la luz continúe su viaje al interior del núcleo se debe conocer la Apertura Numérica (A.N.) de la fibra. Éste valor a su vez determina el ángulo de aceptación, que es el ángulo máximo con que un haz de luz puede ingresar al núcleo de la fibra para que haya reflexión interna total.

En resumen, para que la luz continúe viajando y reflejándose por el núcleo de la fibra, el índice de refracción del núcleo debe ser mayor al índice del revestimiento y su ángulo de incidencia (o ángulo de aceptación) debe ser mayor al ángulo límite. Si esto se cumple, la transmisión interna no tendrá pérdidas por las largas distancias.

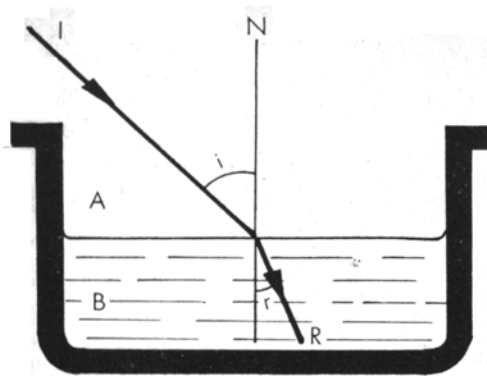


Fig 4. Esquema de refracción y reflexión

### **Tipos de fibra óptica**

En la actualidad existen dos tipologías de fibras ópticas:

- de vidrio
- de un polímero orgánico

siendo la del último tipo la que se empleará para el estudio planteado.

#### **-Fibra óptica de vidrio:**

Es un tubo macizo o hueco en el cual la luz queda atrapada y que al rebotar en las paredes interiores, puede viajar largas distancias. Existen diversos grosores posibilitando una variedad casi absoluta en el diseño.



Los vidrios utilizados se componen por mezclas de óxidos metálicos denominados elementos formadores, los cuales pueden formar estructuras orgánicas no cristalizadas. Estos componentes a su vez se mezclan con elementos modificadores, los cuales determinan las temperaturas de fusión, el índice de refracción o la solubilidad de los vidrios. Al mezclar los óxidos formadores con los modificadores se crea el vidrio en una amplia gama tipológica con diversas propiedades.

Otras características del vidrio es su resistencia al calor, a altas temperaturas y a la radiación UV. A pesar de ello el vidrio no resiste de manera eficaz los cambios bruscos de temperatura, lo que es importante considerar dependiendo de los distintos ambientes en que la fibra se instalará. Es importante señalar que el vidrio es más barato que el plástico debido a su costo de producción, volumen de producción, materia prima y tiempo en el mercado.

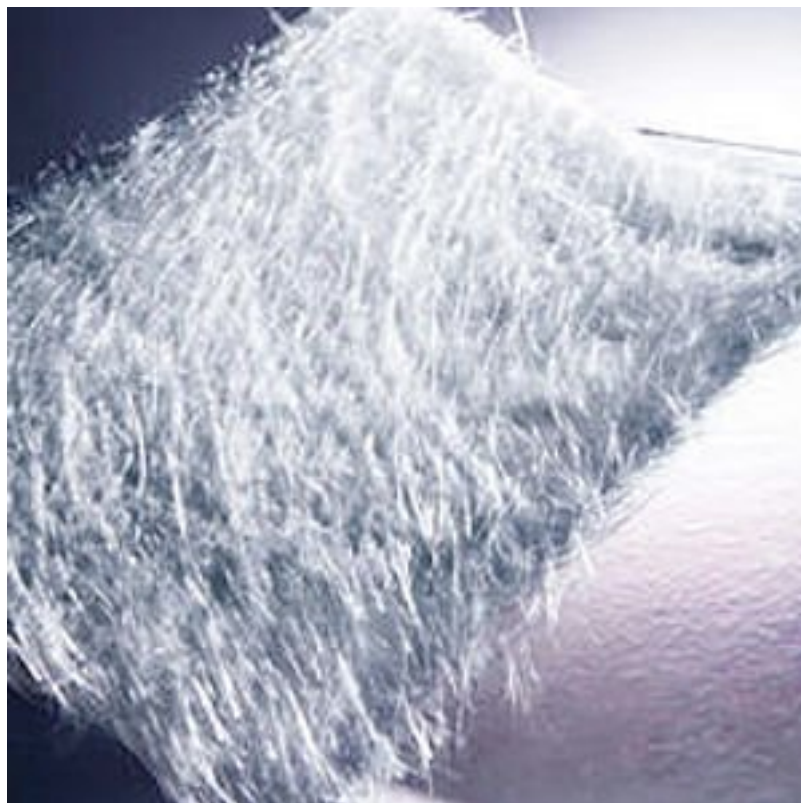


Fig 5. Fibra de vidrio

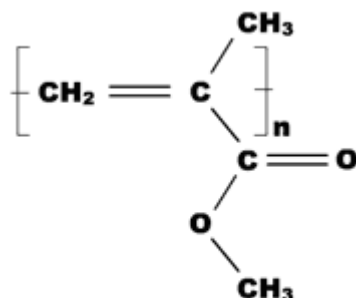


### **-Fibra óptica (polímero orgánico):**

Esta fibra es compacta y maciza y la condición lumínica que llega a alcanzar bordea los 40 metros. El polímero que posibilita su producción se denomina metilmetacrilato. La fibra polimérica posee variaciones en su diámetro entre 0,5 mm hasta 7 mm.

El metilmetacrilato es un polímero termoplástico amorfo, que se puede encontrar en dos formatos, extruido y en colada. Su nombre completo es polimetil metacrilato y su abreviatura es PMMA. El PMMA se compone de moléculas monómeros de metilmetacrilato, cuya fórmula química es  $C_5H_8O_2$  y se forma por reacciones de adición en el enlace doble.

Es un polímero porque se compone de la unión de monómeros. Los termoplásticos tienen la capacidad de convertirse en fluidos al alcanzar determinada temperatura y mantener la forma adquirida una vez restituida la temperatura ambiente, y es amorfo porque al enfriar su estructura molecular se agrupa de forma anárquica, con una contracción del material constante en las tres dimensiones. Por contra, los termoplásticos cristalinos al enfriar cristalizan, por lo que tienden a ocupar el menor espacio posible y se contraen más en el sentido del flujo que en el transversal. El ser amorfo le confiere mayor transparencia.



**Metil Metacrilato**

Fig 6. Metil metacrilato



A diferencia de la fibra óptica de vidrio, la fibra óptica polímero orgánica es químicamente inerte, resistiendo a los álcalis, por ejemplo, de mucha mejor manera. Otra diferencia es que con la luz solar el plástico se va degradando; posee menor resistencia a la radiación ultra violeta, agentes químicos y los microorganismos.

A pesar de ello, estas deficiencias pueden ser controladas con el uso de aditivos antioxidantes y estabilizadores.

La fibra óptica poliméricas, además, tiene una menor resistencia a altas temperaturas pero al exponerlas a variaciones bruscas, no demuestra variaciones. Otra deficiencia es que tiene un módulo de elasticidad bajo y un flujo plástico alto, es decir, una menor resiliencia. Finalmente, su costo más elevado es un factor influyente, sin embargo las ventajas que la fibra óptica de vidrio posee pueden mitigar este costo.

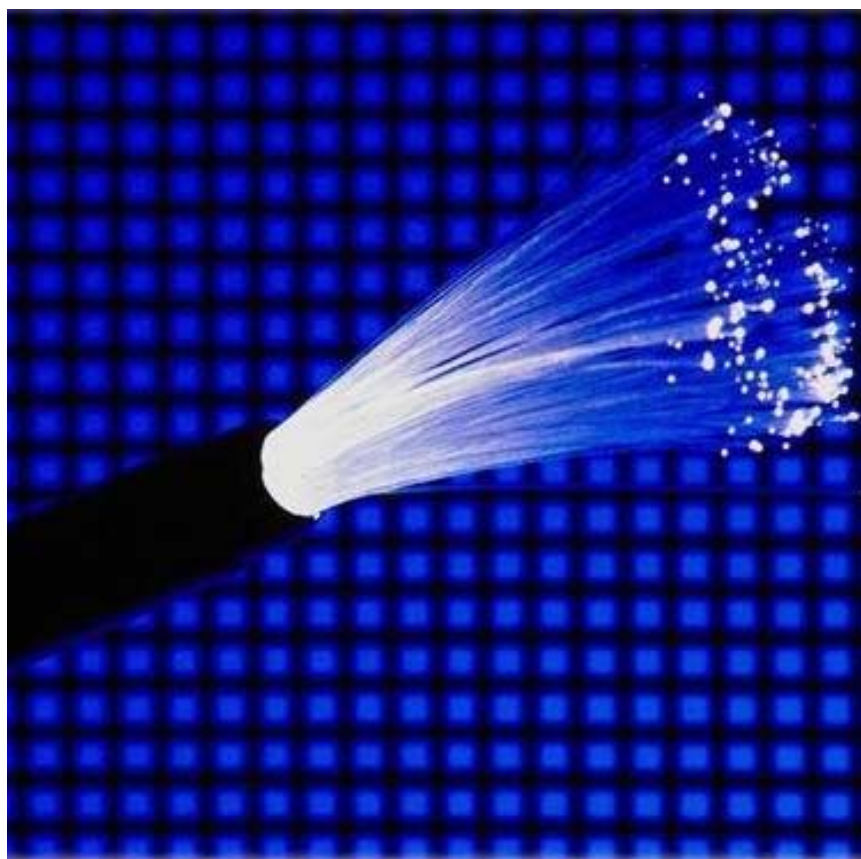


Fig 7. Fibra óptica

Dentro de esta podemos encontrar a su vez:

**\*Fibra Monomodo:**

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. Sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8  $\mu\text{m}$ . Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión aún se dominan mal.

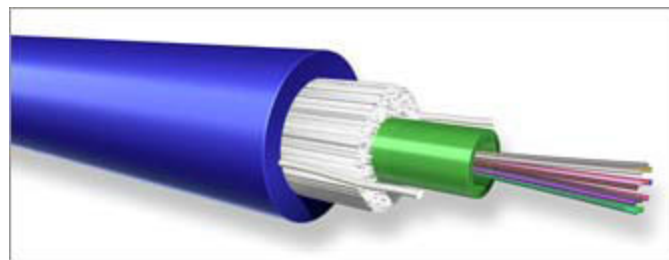


Fig 8. Fibra óptica monomodo

**\*Fibra Multimodo de Índice Gradiente Gradual:**

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra. Estas





fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125  $\mu\text{m}$  (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras.

**\*Fibra Multimodo de índice escalonado:**

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

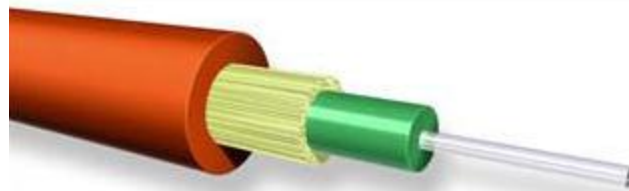


Fig 9. Fibra óptica multimodo

**Usos de la fibra óptica**

– **Medicina:** En este campo son evidentes las ventajas que puede aportar el uso de la fibra óptica como ayuda a las técnicas endoscópicas clásicas y, de hecho, están siendo sustituidos los sistemas tradicionales por los modernos fibroscopios. Diversos aparatos incluyen ya esta tecnología que nos permite la exploración de cavidades internas del cuerpo humano con gran precisión.



- **Arqueología:** En este campo la fibra óptica se usa habitualmente con el fin de poseer un acceso visual a zonas que son inaccesibles mediante otros sistemas.
- **Aplicaciones militares:** Los beneficios que aporta en este campo la fibra óptica son fundamentalmente la seguridad frente a las comunicaciones por radio y cables convencionales
- **Telecomunicaciones:** Transmite información, internet, telefonía, televisión...
- **Arquitectura:** Las fibras de vidrio utilizadas en la formación del hormigón translúcido, básicamente son un fino hilo de vidrio que guía la luz. Los tipos de fibras utilizadas son *fibras* monomodo y vírgenes, es decir, en su estado puro y sin recubrimientos cuya finalidad es la de hacer que transcurra más fácilmente la luz a través del hormigón.
- **Estructuras:** Las fibras ópticas también se utilizan para medir las posibles deformaciones de las estructuras y en pavimentos flexibles. Se usan sensores de deformación embebidos en el pavimento y sensores de desplazamiento para medición de la separación en las juntas, los cuales requieren la inserción de los sensores en la vía durante el proceso de construcción, o en la estructura, alterando la misma. Adicionalmente, la mayoría de sensores tradicionales son afectados por las condiciones ambientales, como la humedad o el calor, que modifican su respuesta, y causan su deterioro. Para superar estos inconvenientes, recientemente se han implantado sensores de fibra óptica.

### **Tejido de fibra óptica**

El Instituto tecnológico textil (Aitex) junto con la empresa Sociedad Textil Lencera S.L. han desarrollado un tejido que combina hilo normal con fibra óptica. El novedoso invento se logró perfeccionando la posibilidad de tejer fibra óptica dentro de la tela. Este material conduce



la luz a lo largo de la confección mediante reflexión total interna, dando posibilidad de iluminar ciertos tramos del tejido.

Es un producto innovador, basado en la tecnología que permite tejer fibras ópticas a lo largo de la dirección del tejido. La luz se distribuye de forma homogénea en toda la superficie del material. Es un tejido flexible, elástico y lavable.

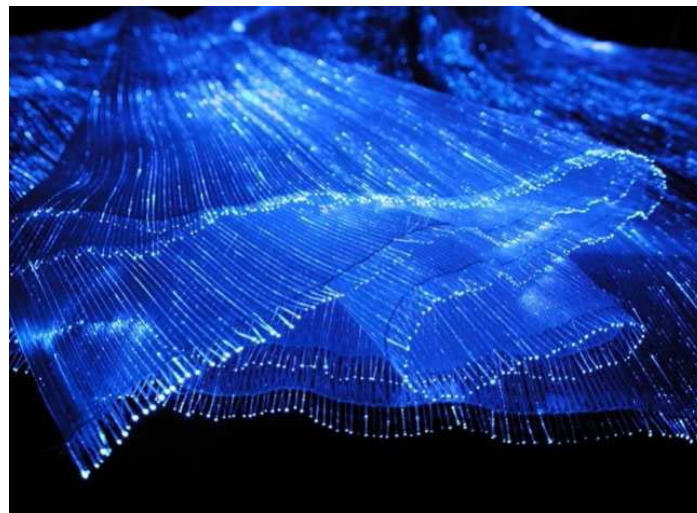


Fig 10. Tejido de fibra óptica

#### **4.5.- Tipos de hormigón**

Como ya hemos dicho anteriormente el hormigón es un material compuesto por piedras menudas, cemento, arena y agua, y en ocasiones aditivos o adiciones que mejoran algunas de sus propiedades. Pero con el paso del tiempo han ido apareciendo diferentes tipos de hormigones, cada uno con unas propiedades y características determinadas, y su utilización dependerá de las necesidades de la obra a realizar.

A continuación explicaremos cuales son los tipos de hormigón más utilizados y sus principales características.



### **Hormigón celular**

Es un material de construcción destinado a la obra gruesa. Producido exclusivamente a partir de materias primas naturales, se compone de agua, arena, cemento y aire. Es ideal para rellenos e inyecciones, también es utilizable en muros o tabiques con moldes adecuados.

Las principales características del hormigón celular son:

- No necesita un aislamiento complementario ya que su estructura alveolar con miles de micro células de aire, le confiere esta propiedad.
- Es un material que respira, dejando pasar el vapor de agua, evitando los riesgos de humedad, condensación y aparición de hongos.
- Resiste al fuego 6h y es estanco a los humos y los gases tóxicos.
- Es un hormigón muy ligero.

### **Hormigón autocompactante**

Es un material que tiene la propiedad de fluir y rellenar cualquier parte del encofrado solamente por la acción de su peso propio, sin ser necesaria la compactación por medios mecánicos y sin bloqueo ni segregación. Se emplea en hormigones vistos que requieren de encofrados de vibrado difícil.

Las principales características del hormigón autocompactante son:

- Hormigonado fácil y rápido
- Puesta en obra prescindiendo del vibrado
- Mayor resistencia a la compresión con igual cantidad de cemento
- Excelente acabado superficial
- Muy ligero y con alta resistencia.
- Gran durabilidad e impermeabilidad.



### **Hormigón polimérico**

Es un material compuesto de distintos tipos de áridos ligados mediante resinas de poliéster.

Sus principales características son las siguientes:

- Ligereza y prácticamente nulo porcentaje de absorción de agua.
- Inalterabilidad a los ciclos hielo-deshielo
- Alta resistencia a los productos químicos y al choque
- Mínimo desgaste por abrasión

### **Hormigón blanco**

Es un hormigón formado por cemento blanco, en lugar del cemento portland utilizado normalmente. El cemento blanco debe su color a la ausencia de óxidos férricos, que son los que le confieren el color gris al cemento. Para suplir la carencia de óxidos de hierro, se suele añadir óxido de calcio (CaO), fluorita (CaF<sub>2</sub>) o carlita (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>).

Debido a ser ésta su única diferencia con el hormigón común, las características son pues las mismas que las del hormigón común, la única característica que los diferencia será el color.

### **Hormigón ligero**

Es un hormigón de poca densidad, formado por áridos de pequeña densidad. Es utilizado para la obtención de elementos que no precisen grandes resistencias, como tabiques o fachadas de revestimiento, y sobre todo como aislante del calor y del sonido. Su principal característica es que se pueden realizar piezas de grandes dimensiones aligerando la estructura.

Estos son solo algunos de los posibles tipos de hormigón a utilizar, aunque hay muchos más.



#### **4.6.- Características del hormigón translúcido**

La principal característica del hormigón translúcido es su **translucidez**, porque las fibras ópticas llevan la luz en forma de pequeños puntos a partir de una cara iluminada a la cara opuesta.

Otra de sus características es la **plasticidad**, característica de la cual depende su mayor o menor aptitud para poder rellenar completamente las juntas. La plasticidad se puede considerar realizando ensayos con el cono de Abrams. Una de las cosas que más influyen en la plasticidad es el contenido de finos que se utilicen en la dosificación del hormigón.

La **resistencia mecánica** es la capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse. Es diferente según el tipo de esfuerzo del que se trate. Su resistencia a compresión es unas diez veces mayor que su **resistencia a tracción**.

La **resistencia a compresión** es la propiedad más indicativa para los elementos portantes y estructurales. La resistencia debe ser lo más elevada posible. Esta característica podemos medirla mediante el ensayo de compresión.

También se pueden construir estructuras portantes con hormigón translúcido, ya que la fibra óptica con que está compuesto este material no perjudica la bien conocida resistencia a compresión del hormigón.

Otra de sus características al igual que para el hormigón tradicional es la del **aislamiento térmico**.

El **módulo de deformación** es otra característica que influye en la capacidad de deformación de la pared frente a pequeñas modificaciones dimensionales.

La **homogeneidad**, es la propiedad por la cual el hormigón tiene las mismas características en todos los puntos. Esta propiedad se consigue mediante un buen amasado donde se mezclen bien todos los componentes.



La **densidad**, que es la cantidad de peso por unidad de volumen, y que variará con la clase de áridos. Dependiendo de esta característica podemos hablar de hormigones ligeros, hormigones ordinarios y hormigones pesados, de menor a mayor densidad.

La **porosidad** se considera a la proporción de huecos respecto de la masa total, influye en la resistencia, la permeabilidad y la densidad.

La **durabilidad**, que es la capacidad para resistir el paso del tiempo.

La **permeabilidad** que es la capacidad de un material de ser atravesado por líquidos o gases. Esta característica es importante para el hormigón por su resistencia a los ataques químicos, y depende en parte del exceso de agua en el amasado y del posterior curado del hormigón.

Por último la **retracción en el secado** debido a la pérdida de agua del hormigón al secarse, pueden producirse grietas y fisuras.

#### **4.7.- Métodos de ensayo**

A continuación hablaremos sobre los diferentes tipos de ensayo que podemos realizar sobre el hormigón, para más adelante poder elegir cuales serán los que realizaremos en la fase experimental.

##### **Ensayo de compresión (UNE EN 83-304-84 )**

El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

Este ensayo resulta muy importante ya que es la forma de determinar si el material cumple con las exigencias deseadas.

La resistencia a compresión de las probetas se medirá mediante la aplicación uniforme de dos cargas enfrentadas a través de dos placas.



El sentido de las fibras en la realización del ensayo será en perpendicular a la fuerza que se ejerce. Una vez realizado este ensayo con la máquina en el ordenador se podrán leer los resultados obtenidos.

### **Ensayo a flexión ( UNE EN 83-305-86)**

Flexión es el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. La resistencia a flexión de la probeta se obtiene mediante la aplicación uniforme de una carga a través de un rodillo que transmite la presión perpendicular a la probeta apoyada sobre dos rodillos.

### **Determinación del índice de tenacidad y resistencia a primera fisura (UNE EN 83-510)**

La tenacidad mide la capacidad de absorción de energía del hormigón con fibras. Es, por tanto una propiedad del material compuesto, y su valor depende no solo de la dosificación y del tipo de fibras, sino también de las características de la matriz. El índice de tenacidad depende prácticamente del tipo de fibras y su dosificación. Las características de la matriz apenas influyen en su valor.

### **Determinación del contenido de fibras en el hormigón fresco y en el endurecido.(UNE EN 14-721 )**

Se extraen las fibras de una muestra de hormigón endurecido, o del hormigón fresco, y se determina el contenido de fibras a partir de la masa de las fibras y del volumen de la muestra de hormigón.





### **Resistencia frente al fuego (UNE EN 23-093-81)**

Mediante este ensayo se pretende evaluar el comportamiento frente al fuego de nuestro hormigón, valorando durante cuánto tiempo sigue cumpliendo cuando se desarrolla un incendio.

### **Resistencia al desgaste (UNE EN 13-38)**

Mediante este ensayo se pretende evaluar la resistencia frente al desgaste del hormigón. Es un ensayo muy utilizado cuando el hormigón se va a utilizar en pavimentos.

### **Cantidad de luz**

Al estar ante un material translúcido, aparte de los ensayos más usados en el hormigón, deberíamos realizar un ensayo para poder cuantificar la cantidad de luz que puede pasar a través de este hormigón.

La cantidad de luz que deje pasar dependerá de la cantidad de fibra óptica que introduzcamos en nuestro hormigón. Dependiendo de esta cantidad de luz podríamos dar una nomenclatura a este hormigón. Podríamos decir que es un % translúcido, cuando la cantidad de fibras que contenga y por tanto la cantidad de luz que deje pasar sea de ese %. Por ejemplo hablaríamos de un hormigón translúcido al 30%, cuando estuviera formado por un 30% de fibra óptica y un 70% de hormigón, y por tanto dejara pasar un 30% de la cantidad de luz que incidiera sobre él, hablando en % en volumen. Si habláramos en % en peso sería diferente, ya que el peso de las fibras es muy pequeño.



### **Ensayo frente a impactos de alta velocidad (GRC-AR)**

Este ensayo se realiza en el cañón de gas, para obtener la capacidad de absorción de energía que tiene el material cuando está sometido a altas velocidades de deformación. Las probetas se colocan dentro de la cámara de impacto, sujetas a un soporte con gomas elásticas.

Este ensayo tiene por objeto hallar la curva de impacto-velocidad del proyectil.

### **Ensayo de abrasión(UNE EN 127-02:99)**

Este ensayo pretende evaluar el comportamiento de las superficies de hormigón frente al desgaste que producirá un agente externo.

### **Ensayo de envejecimiento acelerado (UNE EN ISO 2440:2001)**

Consiste en acelerar el proceso de exposición de un material a los cambios medioambientales para simular sus efectos a largo plazo. También se le denomina ensayo de envejecimiento artificial.



## **5.- PLAN EXPERIMENTAL**



### **5.1.- Descripción de la experimentación**

En los siguientes apartados se explicará la forma de actuación a seguir en la experimentación.

A continuación se explicará el proceso seguido para realizar el plan experimental.

Se comienza por elegir la dosificación del hormigón, y escoger cuidadosamente los materiales que utilizaríamos para su fabricación. A continuación se realizan las probetas, variando diferentes parámetros para ver como afectaban a los resultados a los ensayos que se irían realizando. Por último se estudiarían los resultados obtenidos en los ensayos y se extraerían las conclusiones.

### **5.2.- Dosificación**

Tras ver el amplio abanico de hormigones que podemos utilizar y observadas todas sus características decidimos que lo mejor será utilizar un micro-hormigón autocompactante, principalmente por la característica de no tener que vibrarse, y por ser un tipo de hormigón muy fluido. A continuación explicaremos algo más sobre el hormigón que vamos a utilizar definitivamente, el hormigón autocompactante.

Finalmente hemos elegido este hormigón por su facilidad a la hora de adaptarse a todas las formas, y por su plasticidad que nos será muy útil al necesitar que recubra perfectamente todas las fibras ópticas embebidas en el hormigón. Por otra parte también nos interesa este tipo de hormigón por su propiedad de no necesitar ser vibrado, ya que una vez estén las fibras colocadas en el sitio, no es conveniente vibrar ya que se podrían mover las fibras y no quedar finalmente con el aspecto deseado, a parte de que la colocación del vibrador entre las fibras sería muy complicada.



El hormigón autocompactante es denominado por sus siglas, HAC. Aparte de las ventajas citadas anteriormente como características, también tiene algunas desventajas, como el estricto control en la dosificación, las posibles juntas frías entre las amasadas si se descuida la continuidad en el vertido y el coste superior a otros hormigones.

A continuación hablaremos sobre la dosificación del hormigón autocompactante.

Posee en relación a otros hormigones, mayor contenido de finos, cementos, áridos y adiciones (23%) con la incorporación de fluidificantes que le confieren la fluidez deseada.

-Finos: con secciones menores a 125  $\mu\text{m}$ , y peso total de 500 a 600  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

-Cemento: normal tipo I o Tipo II.

-Áridos como el filler calizo, polvo mineral reactivo, menor a 62  $\mu\text{m}$ , le confiere a la mezcla un color claro.

-Adiciones reactivas: microsílíce o humo de sílice, cenizas volantes, que le confieren resistencia a la flexión, avidez de agua, alta cohesión que necesita de más superfluidificantes, y oscurece la mezcla, excepto con microsílíce blanca.

-Arenas: de granulometrías continuas. Van del 50 al 60% del total de áridos. Gran parte de arenas deben ser finos para impedir que se compongan los finos solo de cemento y adiciones reactivas, pues ello aumentaría la necesidad de agua de la mezcla.

-Agua: La cantidad en relación a finos entre 0,9 y 1,05. Al reducir el tenor de agua se obtienen mezclas excesivamente cohesivas que requieren mucho volumen para compactarse, al aumentarse existe riesgo de exudación, pero esto se controla con el modulador de viscosidad. Si se incluye microsílíce o cenizas debe incrementarse el volumen de agua reactiva.



-Aditivos: Superfluidificante, en proporción 3% del contenido de cemento. Se requiere necesariamente como reductor de agua, para lograr fluidez máxima con consistencias secas.

-Modulador de viscosidad: Le provee de cohesión interna, formando una especie de red tridimensional que le sirve de soporte sin perder fluidez. Aumenta por tanto la resistencia a la segregación, se aplica cuando el aporte de finos es deficiente.

Con objeto de que el árido no fuera un elemento que nos condicionara la posición del tejido de fibra óptica, se decidió no utilizar árido grueso, con la condición de que el resto de componentes se diseñara como un hormigón especial y no como un mortero.

### **5.3.- Realización de probetas**

En una primera fase y dadas las características de la matriz cementante, realizaremos probetas de dimensiones 16x4x4 cm, para ello emplearemos unos moldes de tres probetas cada uno.



Fig 13. Molde para probetas 16x4x4 cm



Para realizar estas probetas actuaríamos de la siguiente forma:

1. Colocamos una fina capa de mortero a modo de base.
2. Dejamos que asiente el hormigón de base.
3. Colocamos sobre la primera capa de mortero un pedazo de tejido de fibra óptica.
4. Vertemos una segunda capa de mortero sobre el tejido y accionamos la mesa de sacudidas para que el mortero envuelva totalmente el tejido hasta quedar embebido en él, y se haya expulsado el aire al exterior.
5. Realizamos el mismo proceso que en punto anterior hasta que el mortero haya cubierto hasta quedar enrasado con el borde del molde.

Para realizar el estudio iremos variando el número de capas de tejido de fibra óptica para poder observar como cambian las diferentes propiedades de las muestras dependiendo de la cantidad de fibra óptica empleada en cada probeta.

Las probetas se colocarán en la cámara húmeda durante un día, para acelerar el proceso de fraguado del hormigón.

6- Desmoldaremos las probetas, y las marcaremos con un número identificador, para posteriormente poder reconocerlas.

De cada grupo de tres probetas, una de estas la colocaremos en el horno, sumergida en agua durante otro día a 35 °, ya que a temperaturas mayores podría dañarse la fibra óptica, y posteriormente la volveremos a colocar en la cámara húmeda. Otra probeta la colocaremos sumergida en agua en la cámara húmeda, y otra la dejaremos en la cámara húmeda.

### **5.4.- Equipo experimental**

Para realizar los siguientes ensayos estaba prevista la utilización las máquinas que se encuentran en el laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Gestión de la Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia.



Fig 14. Amasadora de hormigón



Fig 15. Cámara húmeda





Fig 16. Horno, exterior e interior

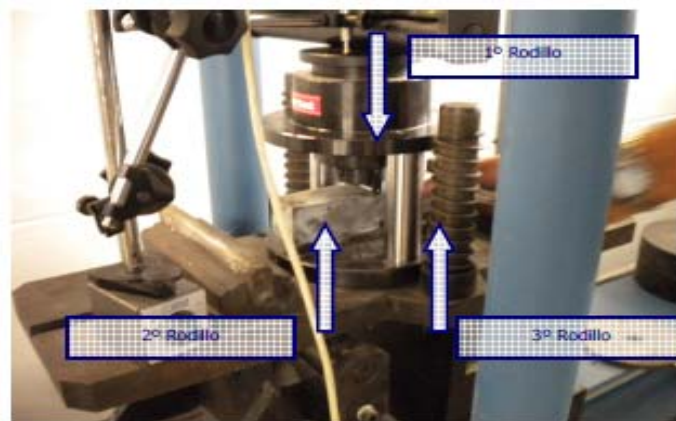


Fig 17. Ensayo flexión 3 puntos

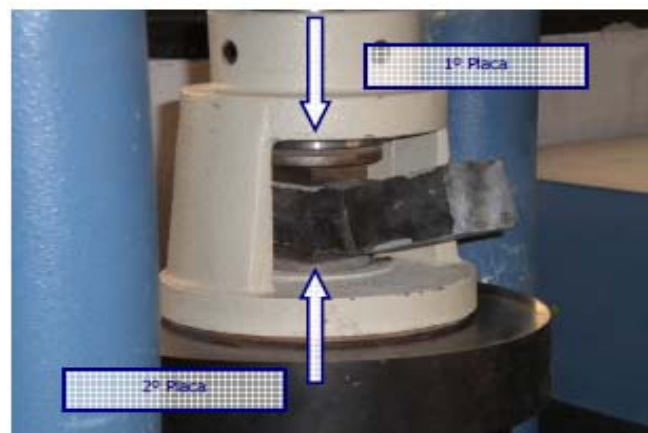


Fig 18. Ensayo a compresión



## **5.5.- Ensayos a realizar**

Después de haber estudiado los diferentes tipos de ensayo que se pueden realizar a nuestro hormigón, decidimos que los que vamos a realizar son los siguientes:

**-Ensayo a compresión:** Es un ensayo muy útil para nuestro hormigón ya que con él podemos observar las cualidades que presenta frente a un esfuerzo de compresión, y como nuestro hormigón va a poder utilizarse como partición interior, y por tanto va a tener que soportar esfuerzos, necesitamos saber si al introducir fibras embebidas en el hormigón van a hacer cambiar esta propiedad, ya sea para mejorarla o empeorarla y saber hasta que punto va a poder ser utilizable como partición.

**-Ensayo a flexión:** Este ensayo debemos realizarlo porque a pesar de que ya es conocido que la capacidad de resistencia a flexión del hormigón común no es demasiado buena, hay que comprobar si al embeber el tejido de fibra óptica en el hormigón el resultado del ensayo a flexión es mejor o peor, y poder saber si las fibras le confieren un mejor comportamiento a flexión.

**-Determinación del índice de tenacidad y resistencia a primera fisura:** El índice de tenacidad depende prácticamente del tipo de fibras y su dosificación. Las características de la matriz apenas influyen en su valor. Por eso es un ensayo tan importante en nuestro proyecto, realizándolo podremos observar como influyen la cantidad y la posición de las fibras en nuestro hormigón.



**-Determinación del contenido de fibras en el hormigón fresco y en el endurecido:** Se extraen las fibras de una muestra de hormigón endurecido, o del hormigón fresco, y se determina el contenido de fibras a partir de la masa de las fibras y del volumen de la muestra de hormigón. Es importante porque a través de este podemos cuantificar la cantidad de fibras existentes en el hormigón, para ver como influye esta en el resto de ensayos.

**-Resistencia frente al fuego:** Realizaremos este ensayo porque es conveniente cuantificar como va a reaccionar la fibra óptica frente al fuego, y si ésta modificará o no las propiedades del hormigón común. Puesto que va a poder ser utilizado como partición interior es necesario saber como va a reaccionar frente a un posible incendio, y el tiempo que va permanecer inalterable.

**-Resistencia al desgaste:** Este tipo de ensayo es más útil realizarlo cuando el material sobre el que se va a realizar va a utilizarse como pavimento, pues va a estar más expuesto al desgaste, como el hormigón translúcido puede utilizarse como partición interior, en fachadas o como pavimento también sería recomendable poder realizar este tipo de ensayo frente al desgaste y su durabilidad, y poder saber si es recomendable o no su utilización como pavimento.

**-Cantidad de luz:** Puesto que nos encontramos frente a un hormigón, la característica principal del cual es la translucidez, uno de los ensayos más importantes a realizar sería la cantidad de luz que es posible que pase de una cara iluminada a la cara opuesta no iluminada.



**-Ensayo frente a impactos de alta velocidad:** Este ensayo lo realizaremos sobre todo para poder saber si sería recomendable utilizar este tipo de hormigón en fachadas, y saber como reaccionaría frente a impactos externos que pudieran ocurrir.

**-Ensayo de abrasión:** Este ensayo también lo realizaríamos para saber su conveniencia o inconveniencia a la hora de ser utilizado en fachadas, puesto que pretende evaluar el comportamiento de las superficies de hormigón frente al desgaste que producirá un agente externo. Por tanto si va a ser utilizado en interiores no es tan necesario como si va a estar expuesto a los posibles agentes que puedan existir en el exterior.

**-Ensayo de envejecimiento acelerado:** Este ensayo lo realizamos para saber como van a influir sobre nuestro hormigón los posibles cambios medioambientales que puedan producirse con el paso del tiempo. Es un ensayo muy interesante ya que nos permite conocer cual va a ser el funcionamiento de nuestro hormigón con el paso del tiempo, y durante cuanto tiempo puede permanecer sin que sus cualidades iniciales se vean modificadas.

### **5.6.- Realización de paneles**

Otra de las cosas que nos habíamos planteado al inicio de nuestro proyecto es la posibilidad de realizar paneles de mayores dimensiones, para poder estudiar su posible prefabricación, para su utilización como paneles para particiones interiores.

Esta idea resultaba muy interesante, pero también constituía un gran problema, el encofrado.



Cuando hablamos de una probeta de 16x4x4 cm es muy fácil colocar las fibras en una capa, a continuación colocar otra capa de fibras, y así sucesivamente, pero si las dimensiones de los paneles son mayores ya no es tan fácil, puesto que necesitará un encofrado mayor, y sería muy complicado y costoso ir poniendo las fibras en capas, y situarlas de forma que quedaran en el lugar deseado.

Ante esta problemática surgió la idea de poder realizar el encofrado con chapas metálicas microperforadas, donde pudieran sujetarse las fibras en cada una de las microperforaciones, pasando de un lado al otro de su anchura, que sería por donde transmitiría la luz, y podría decidirse si poner fibra óptica en todas las microperforaciones o solo en algunas, llegando a poder formar incluso dibujos o letras.

Esta idea, resultaba mejor a primera vista, pero también era muy costosa, y mientras continuaba la investigación y se estudiaban las posibilidades, encontramos lo que habíamos estado buscando sin saberlo, un tejido realizado con fibra óptica y por tanto con las mismas propiedades que esta que sería mucho más fácil colocar embebido en nuestro hormigón en capas, pues no se tendrían que colocar las fibras una a una, sino que colocaríamos un trozo de tejido en cada capa muy fácilmente. Se podría utilizar un encofrado normal, aunque es una cosa que habría que estudiarla con sumo cuidado.



## **6.- RESULTADOS**



PROYECTO FINAL DE CARRERA  
HORMIGÓN TRASLUCIDO CON FIBRA ÓPTICA

---

Las dificultades que se han tenido para obtener el tejido de fibra óptica en la cuantía necesaria para la realización de los ensayos programados y los costes correspondientes han impedido la obtención de los resultados, aunque en estos momentos se está gestionando la obtención de una subvención que nos permita realizar la parte experimental.



## **7.- CONCLUSIONES**





Las conclusiones que podemos extraer tras el estudio realizado sobre este novedoso material son las siguientes:

– El hormigón translúcido creado por los mejicanos Joel Sosa y Sergio Omar Galván no debería considerarse como hormigón translúcido, sino hormigón transparente, ya que no solo permite ver sombras a través de él, sino también diferenciar formas, figuras e incluso colores, mientras que el hormigón translúcido que pretendíamos fabricar nosotros, creado por Aaron Losonczi solo permite el paso de la luz, y por tanto se pueden divisar a través de él también sombras, pero no colores.

– Seria necesaria la invención de un sistema industrial para poder fijar el tejido de fibra óptica al encofrado y poder realizar paneles de mayores dimensiones de forma fácil y sencilla

– Es un material muy novedoso, que todavía se encuentra en fase de investigación y sobre el cual no se encuentran prácticamente datos sobre los cuales poder basarse para hablar sobre resistencias, y propiedades específicas de este.

– Es necesario establecer especificaciones propias para este tipo de hormigones que permitan poder tipificarlos de forma simple y sencilla para en su caso poder tener un criterio de aceptación o de rechazo swl peosucto. Entre estas especificaciones deberían estar:

- Tipo de hormigón translucido:
  - Fibra óptica de vidrio (FV)
  - Fibra polimérica (FP-xxx), en donde xxx representaría el tipo de polímero
- Porcentaje de fibra
- Estructural o No estructural
- En el caso de ser estructural debería especificarse que cumple con la norma EHE-08



– Debería establecerse una forma de medir a partir de que porcentaje de fibras ópticas podemos hablar de un hormigón translúcido, es decir cuantificara partir de que porcentaje de fibras ópticas sería hormigón translúcido. Cabría tener en cuenta a la hora de establecer esto, si hablamos de % en peso o % en volumen, ya que el peso de estas fibras es muy pequeño en comparación al del hormigón, pero su volumen es elevado.

– En el caso de un textil de fibra óptica unidireccional, no es de esperar un comportamiento físico ni mecánico muy diferente al que obtendríamos si dejáramos caer libremente la fibra óptica. Si embargo en el caso de que fuera bidireccional sí que sería posible obtener un comportamiento diferente al tener fibras en dos direcciones, por ejemplo

- Coacción de la retracción en dos direcciones
- Comportamiento frente a la aparición de fisuras
- Comportamiento en flexión en dos direcciones



## **8.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



Las posibles líneas de investigación con las que continuar el estudio de este nuevo material podrían ser las siguientes:

- Realización de los ensayos citados anteriormente, con la utilización del tejido de fibra óptica

- Realización de bloques de hormigón de mayor tamaño que las probetas y estudio de sus características.

- Estudio y análisis de los resultados obtenidos si se emplean fibras de vidrio.

- Comparativo de resultados entre fibras de vidrio, fibras ópticas y tejido de fibras ópticas.

- Estudio de la realización del encofrado para realizar paneles de particiones interiores.

- Estudio de la utilización del hormigón translúcido para realizar baldosas para pavimentos.



## **9.- REFERENCIAS**

## **BIBLIOGRÁFICAS**



Cabe señalar que debido a que el tema es reciente y cambiante, la bibliografía escrita a disposición no es muy amplia, por lo que nos hemos basado en principal medida en páginas de internet actualizadas.

De todas formas el hormigón es uno de los materiales más antiguos, y por tanto si que hay mucha información sobre este que hemos podido utilizar para nuestro proyecto.

En cuanto a normas hemos utilizado:

- La Norma para hormigones EHE.
- Normas UNE sobre los ensayos que se realizan en el hormigón.
  - UNE EN 83-304-84
  - UNE EN 83-305-86
  - UNE EN 33-510
  - UNE EN 14-721
  - UNE EN 23-093 81
  - UNE EN 13-38
  - UNE EN 127-02-99
  - UNE EN ISO 2440-2001

El resto de referencias utilizadas has sido las siguientes:

- <http://www.litracon.hu>, consulta más reciente: 10-06-2011
- <http://www.aitex.es>, consulta más reciente: 10-06-2011



## **10.- ANEJOS**



### **10.1.- Patente Litracón**

A continuación se muestra el texto íntegro de la patente del inventor húngaro del hormigón translúcido con fibra óptica Aaron Losoczi.





(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**  
**Martin**

(10) **Pub. No.: US 2007/0230209 A1**

(43) **Pub. Date: Oct. 4, 2007**

(54) **LIGHT TRANSMITTING BUILDING MATERIAL AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME**

(76) Inventor: **Gregory R. Martin**, Acton, ME (US)

Correspondence Address:  
**CHRIS A. CASEIRO**  
**VERRILL DANA, LLP**  
**ONE PORTLAND SQUARE**  
**PORTLAND, ME 04112-0586 (US)**

(21) Appl. No.: **11/392,414**

(22) Filed: **Mar. 29, 2006**

**Publication Classification**

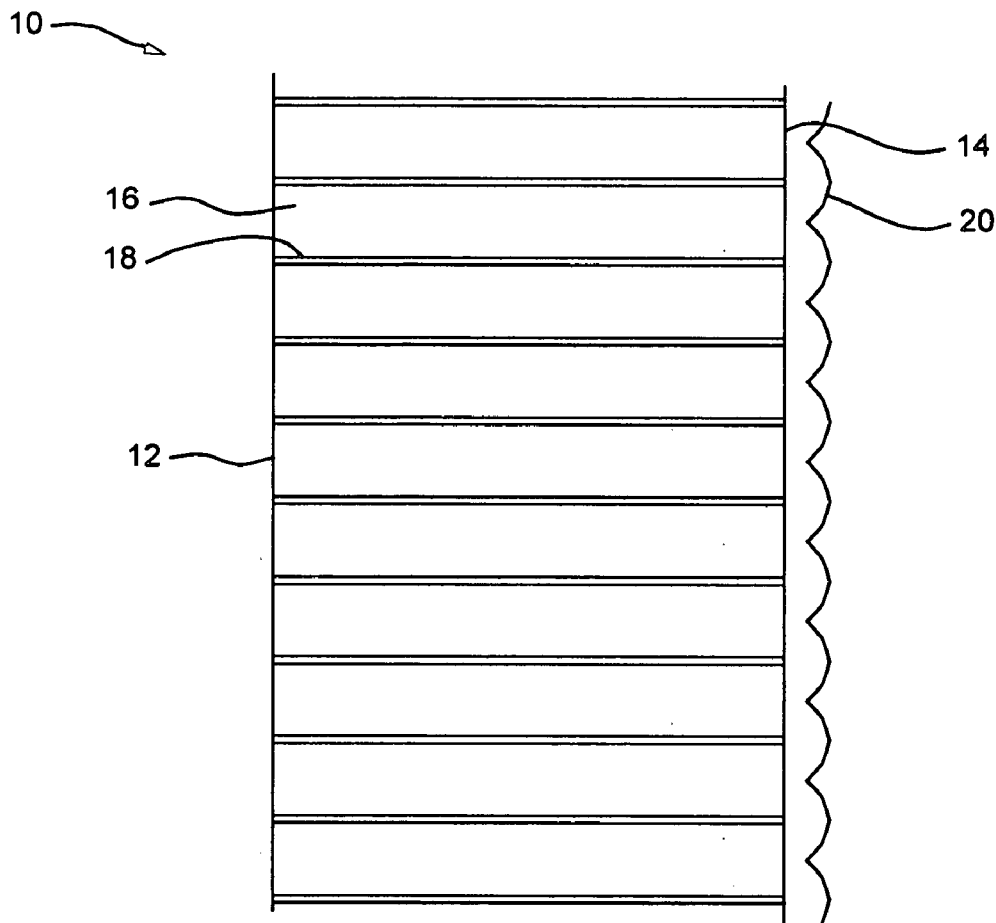
(51) **Int. Cl.**  
**E04H 15/10** (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** ..... **362/576; 362/580; 362/147**

(57) **ABSTRACT**

A light-transmitting structure for use as a building block or panel, and a related method of fabrication. The structure includes a composite of a primary building material and one

or more light-transmitting elements. The primary building material may have structural and/or insulative characteristics. The light-transmitting elements extend from one surface of the primary building material to the other and preferably make up a small part of the bulk of the structure. One or more light-concentrating elements are positioned on one or both surfaces of the structure and are configured to concentrate incoming light rays to the light-transmitting elements. The light-transmitting elements may be optical fibers, optical film in a parallel or intersecting arrangements, or other suitable geometries. The light-concentrating elements may be spherical, aspherical, or other geometries suitable for enabling light transmission through the primary building material via the light-transmitting elements. The structure may be fabricated in a variety of ways. In one process, the light-transmitting and light-concentrating elements may be formed separately and joined together in an aligned manner. In another process, both elements may be formed at the same time, either using a preformed mold, extrusion or shaping and selectively curing portions of a fluid with optical characteristics. The panel may be used to introduce light and or heating sunshine through the structure with little impact on its structural and/or insulative characteristics.



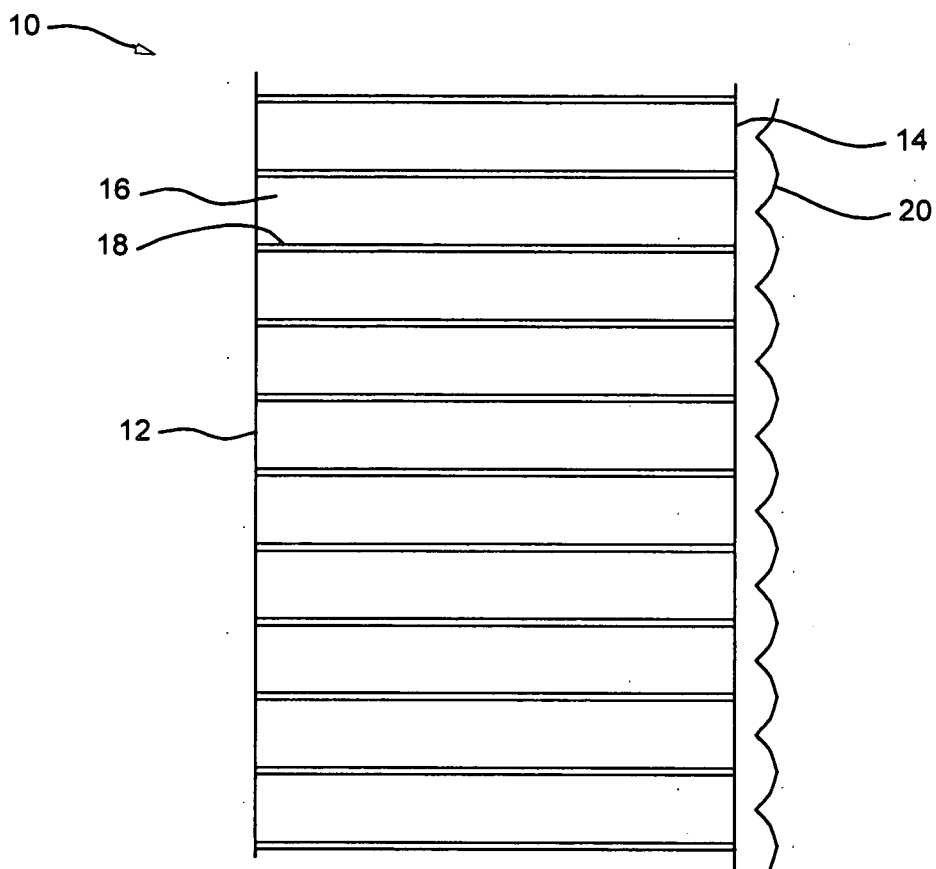


FIG. 1

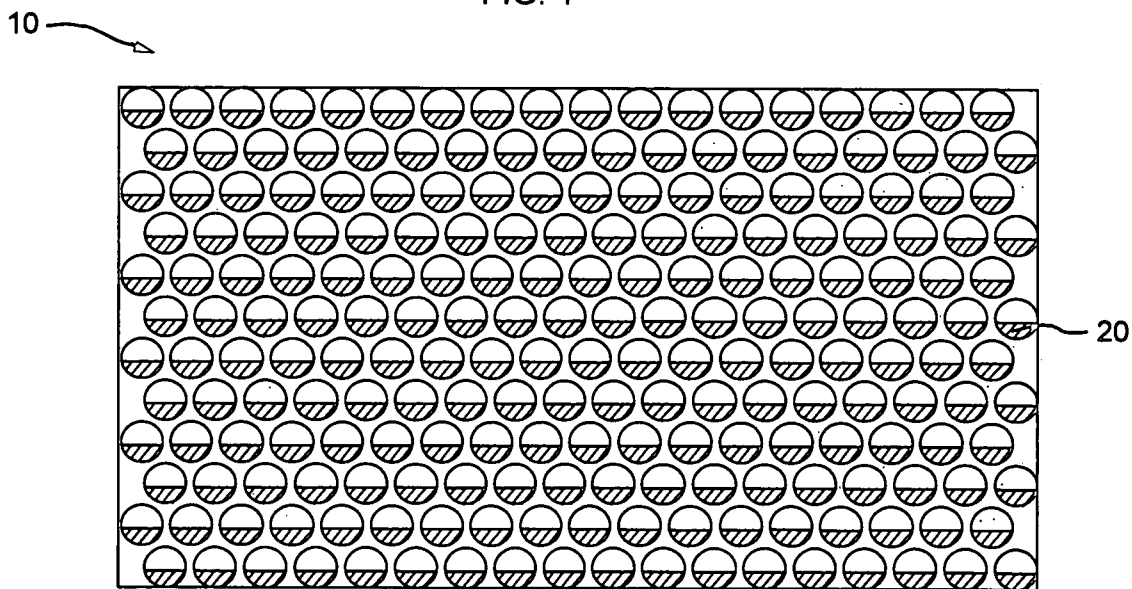


FIG. 2

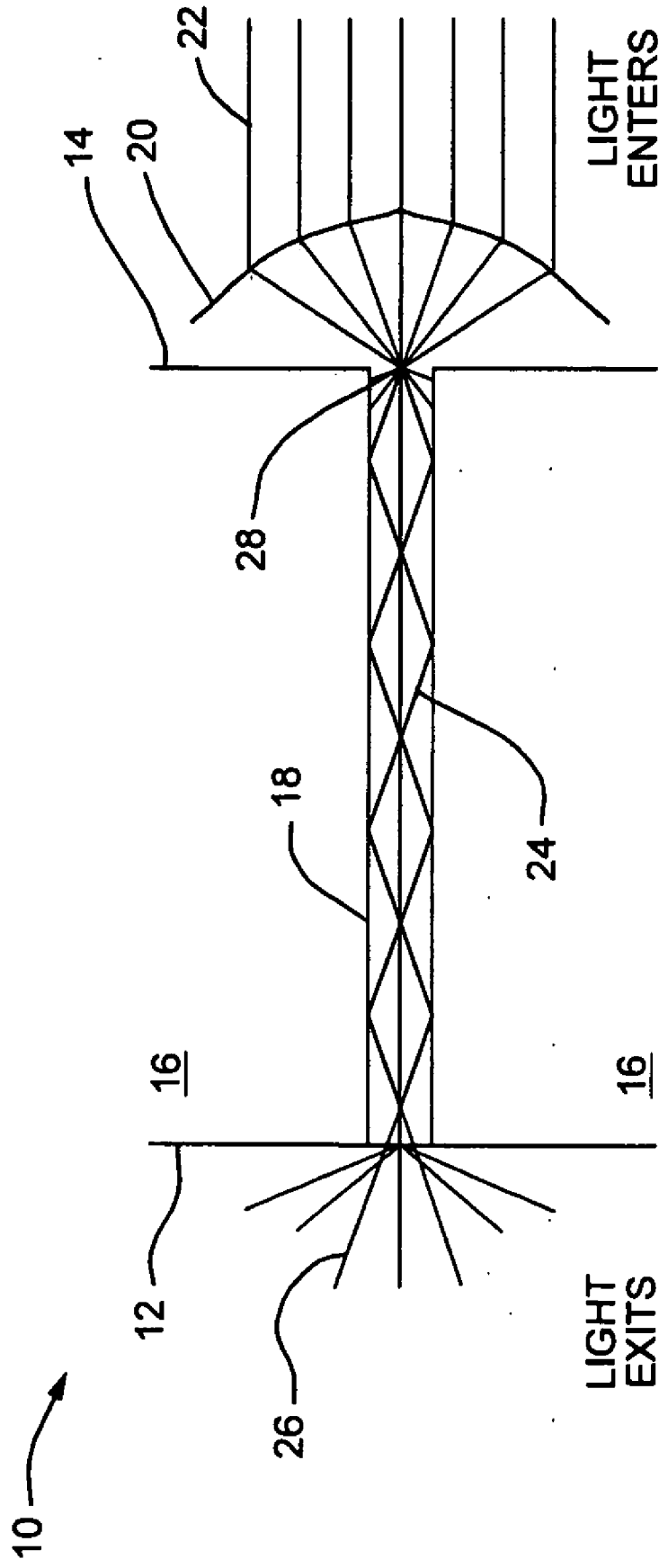


FIG. 3

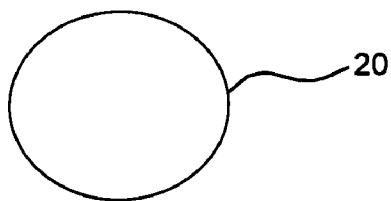


FIG. 4

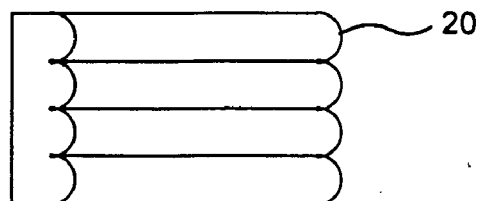


FIG. 5

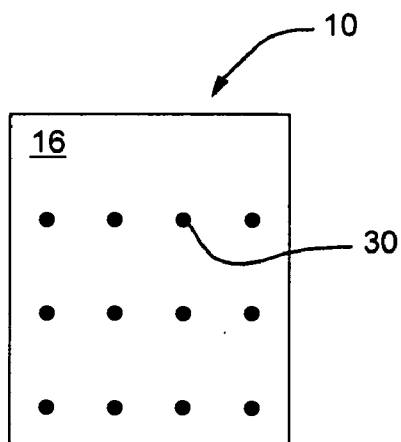


FIG. 6

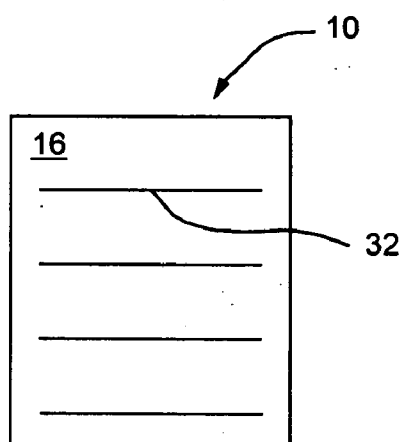


FIG. 7

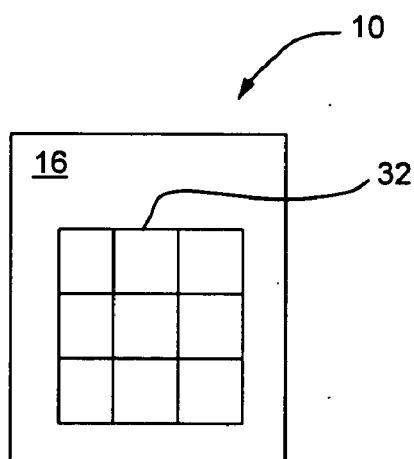


FIG. 8

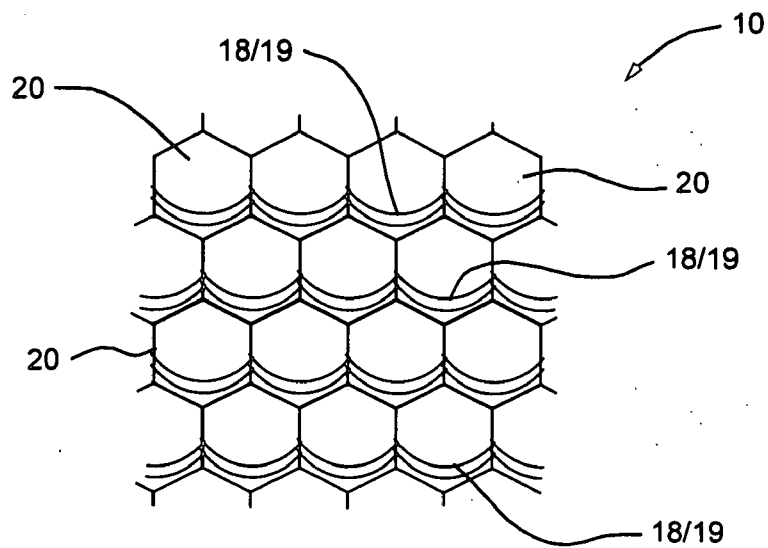


FIG. 9

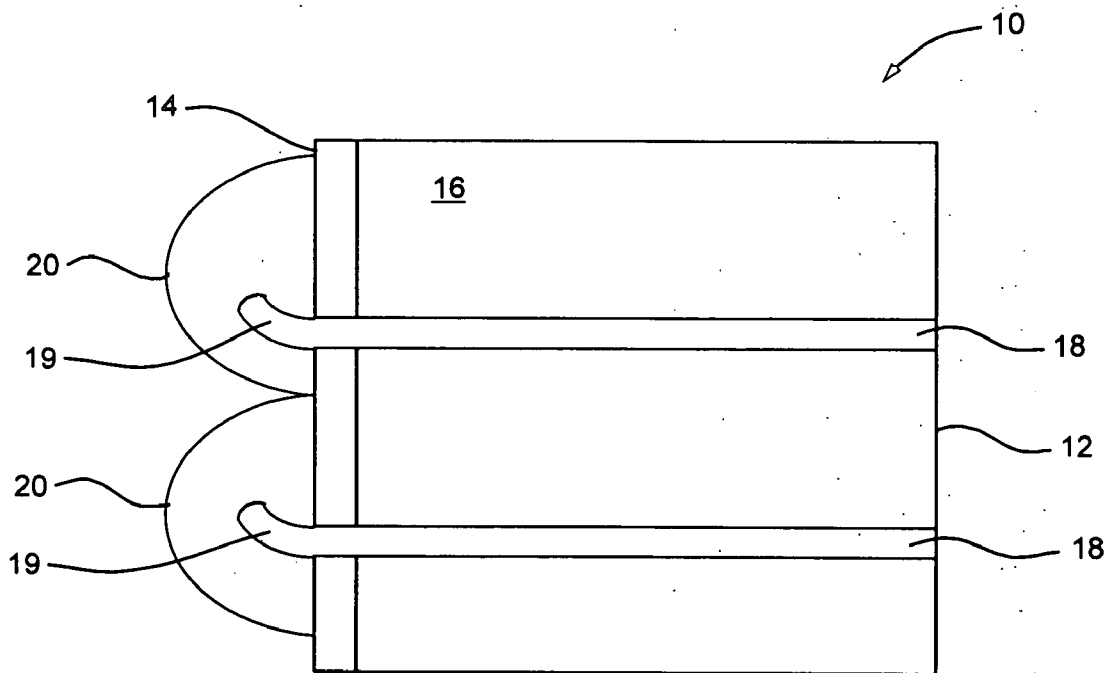


FIG. 10

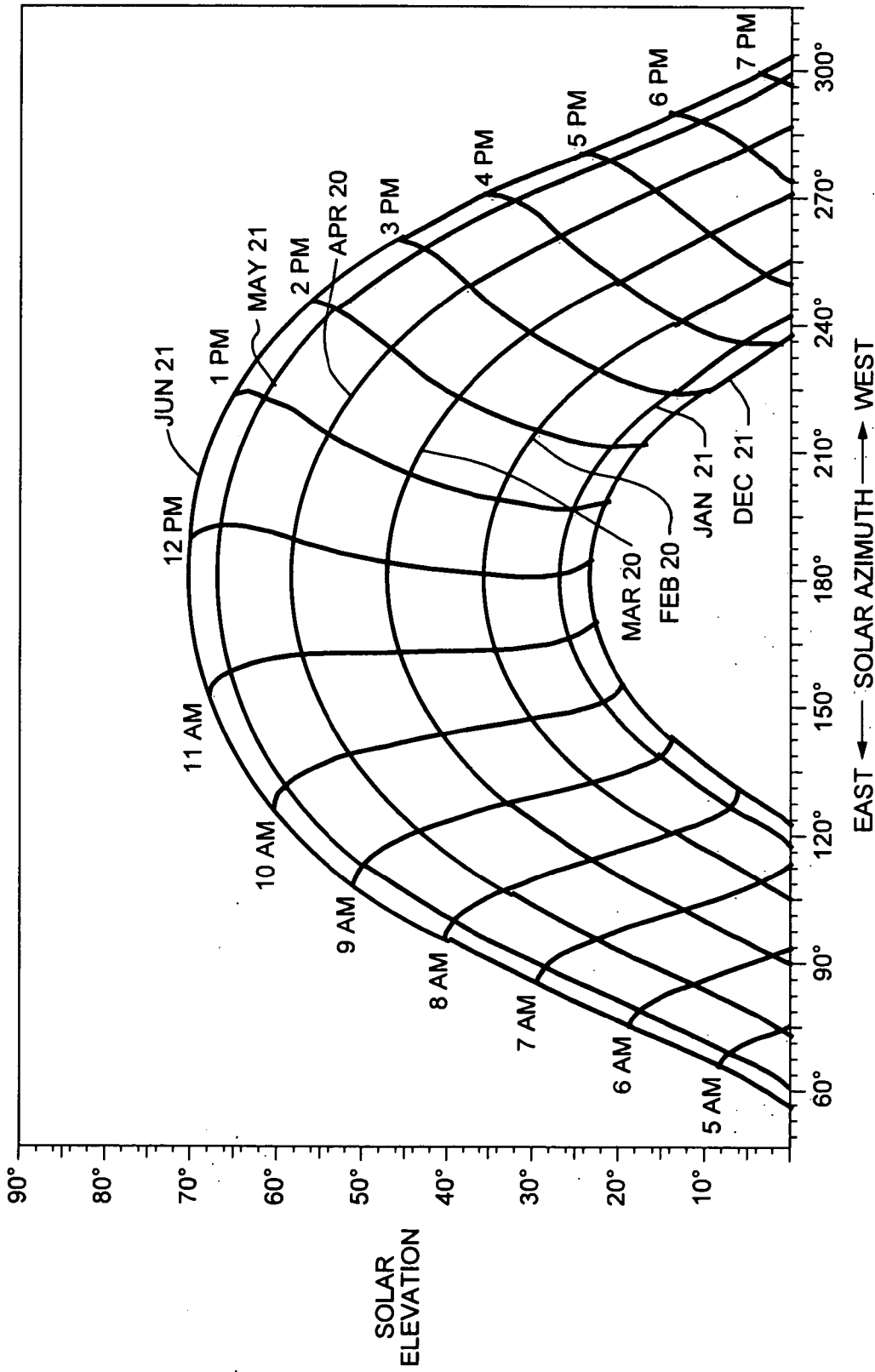


FIG. 11

## LIGHT TRANSMITTING BUILDING MATERIAL AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

### BACKGROUND OF THE INVENTION

#### [0001] 1. Field of the Invention

[0002] The present invention relates to building structures. More particularly, the present invention relates to traditionally opaque building materials including, but not limited to, cement, concrete blocks, wood, fiber batting and solid, cellular and porous polymeric structural and cover materials. Still more particularly, the present invention relates to systems and methods for making such traditional building materials capable of light transmission.

#### [0003] 2. Description of the Prior Art

[0004] Buildings within which people live, work and play must have certain physical characteristics to ensure structural integrity in a manner that preserves the condition of the building and the security and comfort of the people within. That is, buildings are built to remain in place for some period of time, and to be used as intended, under the particular environmental conditions to be expected where the building is located. Unfortunately, these desired characteristics of a building tend to produce a conflict in the selection of materials used to build the building.

[0005] The primary conflict in building material selection relates to the use of materials that can be divided into two general categories: opaque and light transmitting. Opaque materials are those that provide structural integrity and protection from the external environment. Opaque materials most commonly used to fabricate buildings include cement, concrete blocks, wood, fiber glass insulation and solid, cellular and porous polymeric structural and cover materials. Light transmitting materials, on the other hand, provide the building occupants with day lighting and optionally the ability to observe the environment beyond the building without direct exposure thereto. Light transmitting materials most commonly used in the fabrication of at least portions of a building, primarily the windows, include glass and polymeric materials.

[0006] The limitations associated with each type of material are as fundamental as their advantages. Building occupants cannot see through the opaque structural materials to the outside environment. The opaque materials do not let in sunlight. As a result, sunlight cannot heat the interior of the building and artificial lighting is required to light the interior of the building. On the other hand, a window does not have the insulative or structural characteristics associated with opaque materials. As a result, building heat loss tends to occur through its windows much more so than through its opaque walls.

[0007] Some attempts have been made or disclosed to address the limitations associated with opaque building materials. Published US patent application Pub. No. 2005/0183372 and PCT application no. WO 03/097954 describe a building block with light-transmitting fibers, apparently sold under the trade name Litracon™ offered by the Litracon Company of Hungary. The Litracon™ product is fabricated in blocks that may be placed together. The visual image is blurry through the blocks and light transmission appears to be diffuse when the sample shown on the company's website is viewed. This is due to the optical fibers' property of

transmitting light entering from many angles causing mixing and blurring of all but the closest objects or shadows. Also, the optical fibers provide for some light transmission but the light transmission is limited to the percentage of optical fiber included in the material. This creates a large trade off between light transmission and maintenance of the physical properties of the building material. U.S. Pat. No. 4,796,404 describes a light-transmitting thermal barrier. The light is also diffused in this structure. Further, the structure requires a trade-off between thickness, which determines thermal insulation characteristics, and light transmission. Finally, the Cabot Corporation offers an aerogel powder used to fill the core of lighting panels to enhance thermal insulation. However, the powder scatters light such that the panel may not be used as a window and, again, there is a trade off between light transmission and thermal insulation characteristics. Also, none of the above solutions provide for the selective transmission of light based on incoming angle which can allow for heat gain in a building during the winter months while rejecting building heating light during the summer months, for example.

[0008] Therefore, what is needed is a building material having structural and/or insulative characteristics of interest in the fabrication of commercial and residential buildings while providing such a material with optimized light-transmitting characteristics. Also, what is needed is such a building material wherein light passing therethrough may be focused rather than diffused. Further, what is needed is such a light-transmitting material that enables relatively clear viewing from inside the building of features outside of the building. Still further needed is a building material that can selectively transmit a majority of sunlight during the heating season while limiting light transmission during the non-heating season.

### SUMMARY OF THE INVENTION

[0009] It is an object of the present invention to provide building materials having structural and/or insulative characteristics of interest in the fabrication of commercial and residential buildings, and further having light-transmitting characteristics. It is also an object of the present invention to provide such a building material that transmits a large percentage of the light striking the panel's outer surface, the percentage being largely independent of the panel's thickness. In one preferred embodiment the panel transmits most of the light striking the outer surface during winter months while rejecting most of the light during the summer months. It is a further object of the present invention to optionally provide such a light-transmitting material that enables relatively clear viewing from inside the building of features outside of the building. In this embodiment the angles of light transmitted are tightly controlled such that image transmission is possible.

[0010] These and other objects are achieved by the present invention, which is a combination of components including a primary structural and/or insulative material, one or more light-transmitting elements, and one or more light-concentrating elements. The invention is a building block or panel of selectable thickness formed primarily of the structural and/or insulative material. The structural material may be, for example, concrete. The insulative material may be, for example a polymeric foam. This insulative and/or structural material will henceforth be referred to as the primary build-

ing material. The light-transmitting element(s) extend completely through the thickness of the panel, from the panel's first lateral surface to its second lateral surface. The primary building material occupies all or substantially all of the space between the faces of the panel not otherwise occupied by the light-transmitting elements. The light-transmitting elements are optically transparent materials, preferably formed of glass or polymeric material. It is intended that the light-transmitting elements make up a relatively small portion of the overall cross-section of the panel. The light-concentrating elements are attached to one or both of the first and second lateral surfaces of the panel. They are configured and arranged such that a majority of light (either from a single angle or multiple angles) striking the lateral surface of the panel is concentrated into the light-transmitting elements. As a result, a majority of the light striking the panel made of substantially opaque building material passes through the light-transmitting elements from the one lateral surface through to the other. A substantial amount of light is transmitted into the interior of the building using a minimal amount of light-transmitting elements, thereby maximizing the amount of structural and/or insulative material of the panel.

[0011] In one embodiment of the invention, the light-concentrating elements concentrate light striking the first side of the panel oriented to face the exterior of the building from a selectable specific angle or set of angles such that the light transmitted from the second or interior-facing surface of the panel forms an image, as would be the case with a window. In a second embodiment of the invention, the light-concentrating elements concentrate light from the exterior through the light-transmitting elements from as wide a set of entrance angles as possible such that the panel transmits a maximum percentage of light across the interior-facing surface to the interior of the building to maximize lighting and/or heating within the building. In a third embodiment, the light-transmitting elements are shaped to allow light from the light-concentrating elements to enter them only from certain angles of the sun so as to selectively allow sunlight to cross the panel when desired, such as only during specific hours of the day or specific days of the year. Additionally, one or more methods of fabricating the panels of the present invention, including the use of commercially available materials and existing general fabrication techniques, are described herein.

[0012] These and other advantages and aspects of the panel and related method of fabrication of the present invention will become apparent upon review of the following detailed description, the accompanying drawings, and the appended claims.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0013] FIG. 1 is a cross-sectional side view of the light-transmitting panel of the present invention showing the interior-facing side of the panel to the left and the exterior-facing side of the panel with array of light-concentrating elements to the right.

[0014] FIG. 2 is a front view of the exterior-facing side of the panel of the present invention showing one embodiment of an array of light-concentrating elements.

[0015] FIG. 3 is a cross-sectional side view showing an individual light-concentrating element concentrating light

through a light-transmitting element with the interior-facing side of the panel of the present invention to the left and the exterior-facing side of the panel to the right.

[0016] FIG. 4 is a front elevation view of a spherical lens as a light-concentrating element.

[0017] FIG. 5 is a cross-sectional side view of a set of cylindrical lenses as the light-concentrating elements.

[0018] FIG. 6 is a front elevation view of a panel of the present invention showing the light-transmitting elements as an array of fibers.

[0019] FIG. 7 is a front elevation view of a panel of the present invention showing the light-transmitting elements as a parallel array of optical films.

[0020] FIG. 8 is a front elevation view of a panel of the present invention showing the light-transmitting elements as a grid array of optical films.

[0021] FIG. 9 is a front elevation view of a close-packed array of spherical lenses showing the location of curved light guides arranged for transmitting sunlight through most of the day during winter months while rejecting most of the sunlight during summer months.

[0022] FIG. 10 is a cross-sectional side view of the close-packed array of spherical lenses of FIG. 9, showing a close-up of two lenses with associated light-transmitting elements.

[0023] FIG. 11 is a sun chart used for calculating the sun's path for the latitude coordinate indicated to enable selection of the positioning of the light-transmitting elements of the embodiment of the invention of FIGS. 9 and 10.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

[0024] A building panel 10 of the present invention is shown in FIG. 1. The panel 10 includes a first surface 14 that will be referred to herein as an exterior-facing panel side 14 or simply exterior side 14. The panel 10 further includes a second surface 12 that will be referred to herein as an interior-facing panel side 12 or simply interior side 12. The panel is preferably fabricated with a uniform selectable thickness extending from the exterior side 14 to the interior side 12, although it is contemplated that the thickness may be varied if desired (as when the outside surface is made to resemble a house's siding). The panel 10 is effectively a three-dimensional structure having selectable dimensions establishing the area it covers. The coverage area may be rectangular, circular or other shape and the panel may be framed or not for installation. The interior side 12 and the exterior side 14 are referred to as such to provide proper orientation of the components of the panel 10 when the panel forms part of a building structure. Specifically, the interior side 12 is that side of the panel 10 which faces toward the interior of the building, while the exterior side 14 is that side of the panel 10, which faces the environment surrounding the building, of which the panel 10 forms a part.

[0025] With continuing reference to FIG. 1 and reference to FIG. 2, the panel 10 is fabricated of a combination of components, including a primary building material 16, one or more light-transmitting elements 18, and one or more light-concentrating elements 20. The primary building mate-



rial 16 provides the structural integrity and/or any thermal insulation characteristics of the panel 10. It is to be noted that the primary building material 16 may be a primarily insulative material, with structural support provided to the panel 10 by some additional means. For example, both the interior side 12 and the exterior side 14 of the panel 10 may be formed of continuous sheets of transparent polymer, which are held together by the light transmitting-elements 18 to form a strong panel, even when the primary building material 16 is a non-structural material such as fiberglass insulation, or an insulative powder such as aerogel powder or perlite. The light-transmitting elements 18 extend completely through the thickness of the panel between the interior side 12 and the exterior side 14. The light-concentrating elements 20 are positioned on the exterior side 14 of the panel 10. However, it is contemplated that the present invention may be formed with the light-concentrating elements 20 on the interior side 12 instead of the exterior side 14, or on both the interior side 12 and the exterior side 14. The location of the light-concentrating elements 20 is dependent upon the particular light and/or heat transmission characteristics of interest for the panel 10.

[0026] The arrangement of the panel 10 of the present invention provides improved energy consumption characteristics of the building of which it forms a part. As previously noted, windows generally have lower insulative or R-value characteristics than walls and insulative materials. Windows therefore lose heat at a faster rate than do the walls when the exterior of the building is colder than the interior. However, the panel 10 effectively acts as a window in that it is configured to allow light transmission. It also has insulative characteristics approaching those of insulated walls and, in fact, may be a net heat gain as light permitted to pass therethrough can be used as a heat source at the building's interior. The panel 10 may be configured to transfer light from a specified entry angle (or angles) and concentrate it through the light-concentrating elements 20 to the light-transmitting elements 18 to produce on the interior side 12 of the panel 10 a discernible image representative of the image in existence at the exterior side 14 of the panel 10. That may be achieved by using lens-like optical geometries as the light-concentrating elements 20 on the exterior side 14 of the panel 10. Alternatively, the panel 10 may be configured to collect light from the outside of the building at multiple angles in order to maximize light and/or heat transfer, without regard to image quality. That may be achieved by using nonimaging optical geometries as the light-concentrating elements 20 on the exterior side 14 of the panel 10. It may also be achieved by using spherical lens arrays coupled to light guides that are curved such that as the sun's angle changes in the sky the light focused to the back side of the lens continues to enter the light guide as will be described herein with respect to FIGS. 9-11. As an example, the panel 10 may be used as a skylight or wall panel, configured to produce either or both of discernible images (without the inherent heat loss associated with conventional windows and skylights) and light/heat transfer improvement.

[0027] An effective aspect of the panel 10 of the present invention is the arrangement of the light-transmitting elements 18 with respect to the primary building material 16 for both imaging and light/heat transfer improvement. Specifically, each of the light-transmitting elements 18, which elements are preferably some form of light-transmitting

fibers, are combined with the primary building material 16 such that they form a small percentage of the total volume of the panel 10. In that way, the structural and/or insulative characteristics of the panel 10 approach that of the particular material used as the primary building material 16. The addition of the light-concentrating elements 20 on the surface only of the panel 10 provides a far greater light-impacting surface than the ends of the individual fibers that are the light-transmitting elements 18, but without effect on the structural and insulative characteristics of the panel 10 as established primarily by the characteristics of the primary building material 16. That light hitting the light-concentrating elements 20 is then substantially captured, the extent of that capturing being dependent upon the number, type and location of the individual light-transmitting elements 18 and the light-concentrating elements 20.

[0028] One example of the panel 10 as an insulative panel appearing to be transparent at least from within the building includes an array of lenses as the light-concentrating elements 20 positioned on the exterior side 14 of the panel 10, each lens having a diameter about 10 times larger than the diameter of the individual fibers that are the light-transmitting elements 18. In this arrangement, there would be a one-to-one correspondence of lens to fiber. In that arrangement, the cross-sectional area of the fiber is only about  $1/100$  of the cross-sectional area of the lens. By close packing the lenses to cover substantially the entire exterior side 14 of the panel 10, the fibers would only consume about one percent of the total volume of the panel 10, leaving the remaining 99% of the panel 10 to be formed of the primary building material 16. As a result, the panel 10 is substantially the primary building material 16, for structural and/or insulative purposes, while at the same time most all of the light contacting the exterior side 14 of the panel 10 from a set of angles is transmitting through to the interior side 12 of the panel. If used primarily for insulative purposes, the panel 10 would have an R-value nearly the same as that of conventional insulative building materials, but without appearing to be opaque to the individual at the interior side 12 of the panel 10. The quality of the image observed by that individual is dependent upon the lens size selected, the observed image formed of pixels corresponding in size to the size of the lenses positioned on the exterior side 14 of the panel 10.

[0029] The application of the light-concentrating elements 20 to the exterior side 14 of the panel 10 resolves the problem associated with existing attempts to render structural and/or insulative materials transparent, at least to an extent. Specifically, the light-concentrating elements 20 enable a much higher light transmission capability than possible with the light-transmitting elements 18 alone. As an example, a building product formed substantially of structural or insulative material with one percent of light-transmitting fibers extending from one surface to the other will only transmit to one surface something less than one percent of the light contacting the other surface, assuming normal losses such as from surface reflection. If more light transmission is of interest, more light-transmitting fibers must be incorporated. However, if there is an interest in transmitting a substantial portion of the light, then a corresponding proportion of the building product would have to include the light-transmitting fibers, with a corresponding reduction in the amount of structural/insulative material making up the building product and related reduction in structural/insulative characteristics.

[0030] FIG. 3 provides a close-up view of the concentrating or focusing of light into an exemplar one of the light-transmitting elements 18 by an exemplar one of the light-concentrating elements 20. Initial light rays 22 contacting the light-concentrating element 20 from a source external to the building of which the panel 10 forms a part are focused into the light-transmitting element 18. Dependent upon the particular material selected to form the light-transmitting element 18, a substantial portion of concentrating light rays 24 pass therethrough and emerge at the interior side 12 of the panel 10 as a transmitted light ray composition 26 producing an image pixel corresponding in size to the size of the light-concentrating element 20. The size, shape, material selected and proximity of the light-concentrating element 20 determines the focal point 28 of the focused initial rays 22 and the percentage of light passing to the light-transmitting element 18.

[0031] Those skilled in the art will recognize the types of materials and shapes to select for the fabrication of the light-concentrating elements 20, and their placement with respect to the location of the light-transmitting elements 18 on the exterior side 14 of the panel 20. For example, one shape of the light-concentrating element 20 may be spherical, as shown in FIG. 4, or it may be cylindrical, as shown in FIG. 5. If formed as spheres, the light-concentrating element 20 may be used to focus the initial light rays 22 to a point, suitable for light-transmitting elements 18 that are individual fibers of circular cross-section. Alternatively the fibers can possess any cross-sectional shape such as those with an arch-like geometry to capture the sun's arch like track through the sky as the focused light forms a point that moves in an arch across the back surface of the corresponding lens element. If formed cylindrically, the light-concentrating element 20 may be used to focus the initial light rays 22 into a line rather than a point, suitable for light-transmitting elements 20 that are in a form other than individual fibers. The use of multiple optical elements directing light into a single light-transmitting element is also envisioned to aid in the formation of crisp images.

[0032] In the example embodiment of the panel 10 of the present invention as described above, the light-transmitting elements 18 have been described as light-transmitting fibers arranged within the primary building material 16. An example representation of the arrangement of such light-transmitting fibers, identified individually as fibers 30, is shown in FIG. 6. It can be seen that the example configuration includes the fibers 30 in an evenly spaced square pattern within the primary building material 16. Alternatively, the fibers 30 may be positioned within the primary building material 16 in a close-packed pattern or a randomized pattern, dependent upon the particular light-transmitting characteristic of interest. The number and size of the fibers 30 are also selectable as a function of the particular light-transmitting characteristic of interest. The fibers 30 may be used in combination with the light-concentrating elements 20 shaped as represented in FIG. 4.

[0033] A first alternative embodiment of the configuration of the light-transmitting elements 18 of the panel 10 of the present invention is shown in FIG. 7. In that configuration, the light-transmitting elements, identified as sheets 32, are formed planar films of light-transmitting material positioned in a uniform spacing through the thickness of the panel 10 and retained in position by the primary building material 16.

The panel 10 is formed as a lamination of the primary building material 16 preferably alternating with the sheets 32. The sheets 32 may be uniformly spaced, as shown, or they may be staggered in alternative or randomized patterns, dependent upon the light-transmitting characteristic of interest. Additionally, one or more of the individual light-transmitting sheets 32 may be formed of uniform thickness from the exterior side 14 to the interior side 12 of the panel 10. Alternatively, the sheets 32 may be of varied thickness, with the sheet thickness substantially uniform through the primary building material 16, but having either or both ends thereof at the exterior side 14 and/or the interior side 12 of greater thickness. This alternative thickness arrangement allows for greater light-receiving or light-producing capability where the light enters or exits the sheets 32, but without increasing the overall volume of the light-transmitting elements within the primary building material 16. As a result, this particular arrangement aids in maintaining the structural and/or insulative characteristics of the panel 10 while enhancing light transmission. The sheets 32 may be used in combination with the light-concentrating elements 20 shaped as represented in FIG. 5.

[0034] A second alternative embodiment of the configuration of the light-transmitting elements 18 of the panel 10 of the present invention is shown in FIG. 8. In that configuration, the light-transmitting elements, identified as sheets 32, are formed planar films of light-transmitting material positioned in a grid pattern through the thickness of the panel 10 and retained in position by the primary building material 16. The sheets 32 may be uniformly spaced from one another by the primary building material 16 and crossed, as shown, or they may be staggered in alternative or randomized patterns, dependent upon the light-transmitting characteristic of interest. The space of the panel 10 between the interior side 12 and the exterior side 14 not occupied by the sheets 32 is occupied by the primary building material 16. Additionally, one or more of the individual light-transmitting sheets 32 may be formed of uniform thickness from the exterior side 14 to the interior side 12 of the panel 10. Alternatively, the sheets 32 may be of varied thickness, with the sheet thickness substantially uniform through the primary building material 16, but having either or both ends thereof at the exterior side 14 and/or the interior side 12 of greater thickness. This alternative thickness arrangement allows for greater light-receiving or light-producing capability where the light enters or exits the sheets 32, but without increasing the overall volume of the light-transmitting elements within the primary building material 16. As a result, this particular arrangement aids in maintaining the structural and/or insulative characteristics of the panel 10 while enhancing light transmission. The sheets 32 may be used in combination with the light-concentrating elements 20 shaped as represented in FIG. 5.

[0035] A third embodiment of the configuration of the light-transmitting elements 18 of the panel 10 of the present invention is shown in FIGS. 9 and 10. In that configuration the light-transmitting elements 18, extend through the primary building material 16 from the interior side 12 to the exterior side 14. However, rather than straight-line individual fibers or flat panels as shown in FIGS. 6-8, the light-transmitting elements 18 are arched or curved in cross-section as shown in FIG. 9. The extent of the curvature of each light-transmitting element 18 is dependent upon the

desire to facilitate or block light transmission through the panel 10. The curvature may be simple or compound.

[0036] As an example, if there is an interest to aid in warming a building using the panel 10 during winter months and to minimize sunlight-generating heat during summer months, the light-transmitting elements 18 may be arranged as shown in FIG. 9 with respect to the sun's passage through the sky as represented in FIG. 11. This arrangement would focus and transmit more sunlight when the sun is low on the horizon (winter months) while focusing and transmitting less light when the sun is high (summer months). In general, the light-transmitting elements 18 may be arranged in the primary building material 16 and in relation to the light-concentrating elements 20 to maximize or minimize light transmission through the panel 10 as desired by conforming with the arch of the sun when and where desired. The light-transmitting elements 18 may be formed as individual shaped fibers or continuous sheet with a repeating arch-shaped curve throughout the sheet.

[0037] The embodiment of the present invention shown in FIG. 9 also shows the array of light-concentrating elements 20 in a close-packed arrangement. This arrangement may be preferably for the light-transmitting element 18 orientation shown in any of the figures. The close packing of the light-concentrating elements 20 minimizes dead spaces, which dead spaces reduce the ability to take maximum advantage of capturing light transmitted by the sun. The space between individual lens is packed with primary building material 16 which is essentially insulative material. That insulative material does not aid in concentrating light to the light-transmitting elements 18. Nevertheless, a trade-off may be made between transmission effectiveness and fabrication goals.

[0038] Any of the three alternative arrangements of the light-transmitting sheets 32 as shown in FIGS. 7-10 may have certain advantages over use of the light-transmitting fibers 30 of FIG. 6. Specifically, it may be easier, and therefore less expensive, to fabricate the sheets 32 rather than the fibers 30. Additionally, the sheets 32 enable the individual viewing the interior side 12 of the panel 10 to observe the transmitted image from multiple angles within the building. That is, unlike light emission from a point, light emission from a plane (the sheets 32) allows for an image to shift when viewed from multiple angled observances of the plane. Use of the sheets 32 in a grid pattern as shown in FIG. 8 increases the number of angles from which the panel 10 may be viewed and the observable representation of the image on the other side of the panel 10 maintained. Of course, the sheets 32 take up a greater portion of the overall volume of the panel 10 than do a corresponding number of fibers 30, such as, for example, when a like number of like-sized lenses are used as the light-concentrating elements 20. Further, as noted, the optional use of light-transmitting with curved arches 19 of the light-transmitting elements 18 of FIGS. 9 and 10 allows for the formation of panels that transmit light during selected times of the day and year to provide building heating during only the winter months, for example, or lighting at only specific times of the day.

[0039] The panel 10 of the present invention in the several embodiments shown and in other related embodiments may be fabricated in a variety of ways to produce the several arrangements and configurations of light-transmitting ele-

ments 18 as described herein. The panel 10 may be fabricated using a thermoplastic material to form the light-transmitting elements 18. The thermoplastic material may be extruded through a die or set of dies to create an array of cylinders, strands or fibers. The formed light-transmitting elements 18 may then be attached as an array of desired configuration to the inner wall of the component functioning as the exterior side 14 of the panel 10 to be formed. The primary building material 16 is then applied to the same inner wall of the exterior side 14 in a manner that substantially or completely fills the gaps between individual ones of the light-transmitting elements 18. The primary building material 16 may be any material suitable for filling the gap and performing as an insulative or structural material. For example, the filling material may be a foamable polymer. The light-concentrating elements 20 may then be applied to the outer wall of the exterior side 14 of the panel. The light-concentrating elements 20 may be molded in place on the exterior wall or they may be preformed and bonded to the exterior wall. For example, the material used to produce the light-concentrating elements 20 may be a polymer material capable of being injection molded or thermoform molded in situ. Generally stated, the panel 10 may include extruded light-transmitting elements 18 spaced from one another by a filler material as the primary building material 16, and injection-molded polymeric light-concentrating elements 20.

[0040] In regard to the panel 10 including one or more fibers 30 as represented in FIG. 6, there are several fabrication options. In a first fiber-based panel fabrication option, strands of optical fiber held on a spool may be pushed or pulled through a fluid, which fluid may be processed into a solid, such as an insulative foam solid that is represented as the primary building material 16. For example, the liquid may be polyurethane curable into a foamed solid. The fibers are positioned in the uncured fluid where desired prior to the curing step. Strands of fibers may be repeatedly positioned within the fluid to build up a grid with an appearance such as that shown in FIG. 6. The fluid may be cured after the fiber strands have been positioned where desired. The resultant foam/fiber strands composition may be cut or otherwise formed into panels of building material having a light-transmitting characteristic. The light-concentrating elements 20 may then be added to a side of the fabricated panel defined as the exterior side 14 in a concentrator adding process described herein. It is to be noted that the fiber strands may be extruded and positioned in the fluid rather than pulled or pushed from a spool. It is also to be noted that the fluid material may be more structural than insulative, such as a concrete fluid allowed to cure with the fiber strands in position where desired.

[0041] In a second fiber-based panel fabrication option, the fluid may be allowed to cure or otherwise harden but having channels established therein for subsequent placement of the light-transmitting elements 1.8. The fiber strands may then be drawn into the channels so formed. Alternatively, the channels may be filled with a liquid that will cure into an optical material, such as an optical epoxy. The cured optical epoxy has light-transmitting characteristics suitable for the intended purpose. In this fabrication option, the material used to form the primary building material 16 may be poured or injected into a mold cavity of selectable dimensions and having surfaces treated with a release material. The mold cavity includes an array of pins extending

through the thickness of the cavity and arrayed in a pattern of selectable configuration. The poured or injected material is allowed to cure, foam or otherwise harden and the resultant solid with channels in the shape of the pin array is removed. Alternatively, the primary building material **16** can be extruded with the air channels left open. The optical material is then inserted into the formed channels. This fabrication method enables use of relatively sophisticated fiber array geometries. Additionally, the light-concentrating elements **20** may be formed as part of the process, based on inserts placed in the mold. For example, the light-concentrating elements **20** may be formed as Winston cones. Further, this method of fabrication allows for fabrication of the light-transmitting elements **18** and the light-concentrating elements **20** at the same time, rather than fabrication of the panel and subsequent attachment of the light-concentrating elements **20** thereto.

[0042] In a third fiber-based panel fabrication option, the fibers and the structural material would be formed at the same time in a coextrusion process. That is, the material used to form the primary building material **16** would be forced in or through a mold or die along with the material forming the fiber strands oriented in a desired configuration. The coextruded composition is cut to desired thickness to produce individual panels in a continuous process. Optionally, a third material may be extruded to provide an interface with a low refractive index between the optical material of the light-transmitting elements **18** and the primary building material **16**. This extrusion method may be well suited for high-volume automated manufacturing.

[0043] The fabrication of the fiber-based panels may require more complex operations than the fabrication of the sheet-based panel represented in FIG. 7. One method for fabricating the sheet-based panel involves unrolling optical film from a roll into a sheet of selectable dimensions. The sheet is coated or otherwise treated with the fluid material, which is then allowed to cure into solid form with the sheet adjacent thereto. The sheet and material may be positioned within a retainer, such as a trough or mold, with dimensions approximating the desired cross-sectional dimensions of the finished panel. The process of placing sheets and the fluid may be repeated until a satisfactory buildup of the composition is completed. Alternatively, the sheets and structural material may be coextruded in a manner similar to that described above for the third fiber-based panel fabrication option. In another alternative, the sheet of optical film and the primary building material **16** may be preformed sheets of appropriate thicknesses that are alternately stacked and then bonded to a preformed light concentrating array on one surface perpendicular to the stack, such as a lenticular array, and an optical film or sheet on the other side. The primary building material **16** may be a nonmetallic material such as a foamable urethane or a concrete. The finished lay up may form a single panel or may be cut into multiple panels. The light-concentrating elements **20** may then be applied to a selected surface of the formed panel.

[0044] The grid pattern of the sheet-based panel represented in FIG. 8 may be fabricated in a manner as described in the first fiber-based panel fabrication option, but with fibers of optical material replaced with the primary building material **16** coated in a liquid that will cure into the optically transparent grid pattern when sections of the primary building material **16** are placed together. Alternatively, the pri-

mary building material **16** and the light-transmitting elements **18** may be coextruded in an intersecting pattern. Alternatively, the light-transmitting elements **18** may alone be extruded and then the resultant grid can be filled with the primary building material **16** which may be an insulative powder.

[0045] The light-transmitting elements **18** as curved light guides represented in FIGS. 9 and 10 may be fabricated by coextrusion. They may also be extruded, molded or thermoformed, for example, and then spaced with sheets of the primary building material **16** or coated with a liquid that will cure to form the primary building material **16** with the light-transmitting elements **18** therein. The light-transmitting elements **18**, may also be formed as a grid with fabrication methods as mentioned above.

[0046] As noted, the light-concentrating elements **20** provide an advantage of the present invention in maximizing light transmission while minimizing adverse effects on the structural or insulation characteristics of the panel **10**. For that reason, it is desirable that they be applied to the exterior side **14** and configured in a way that focuses incoming light to the light-transmitting elements **18** as effectively as possible. Any geometry that funnels light from a larger area into a smaller area would be more useful than no funneling at all. However, favorable geometries include, but are not limited to, spherical, aspheric, and Winston cone, at least for the fiber-based panel. That is, geometries that focus the light to a point or reduced cross sectional area. For the film-based panel configuration, preferable geometries include, but are not limited to, ones that produce elongated ray patterns, such that they focus the light in a line rather than to a point. For the grid-based panel configuration, preferable geometries include, but are not limited to, ones that produce elongated ray patterns in two axes, conforming substantially to the pattern of the grid of light-transmitting elements. An example would be given by two lenticular arrays superimposed upon each other at 90 degree angles. It should also be noted that the light-concentrating elements **20** may have a flat geometry and yet still act as light concentrators of the present in that they may have a gradient in their refractive indices such as is found in GRIN lenses.

[0047] The light-concentrating elements **20** may be produced in sheet form and formed directly on the exterior side **14** of the panel **10**. Prior to applying the light-concentrating elements **20** to the exterior side **14**, the light-concentrating elements **20** may be fabricated using existing lens array manufacturing techniques including, but not limited to, molding, extruding and embossing. The array of light-concentrating elements **20** may be formed directly on the exterior side **14**, preferably by first preparing that surface of the panel **10** to ensure suitable bonding of the array to the panel **10**. That bonding may be achieved by forming the array on the exterior side **14** or by adhering a preformed array to the exterior side **14**. Alternatively, as described above, the array may be formed when forming the light-transmitting elements **18**. That is, the light-transmitting elements **18** and the light-concentrating elements **20** are fabricated at the same time such that they are aligned and have the same fabrication characteristics. That may be done instead of fabricating each separately and then attaching the array aligned so that individual ones of the light-concentrating elements **20** are properly aligned with corresponding ones of the light-transmitting elements **18**.

[0048] In another method of fabrication, the primary building material **16** is first formed, including with spaced channels where the light-transmitting elements **18** are to be positioned, as previously described. This method permits establishment of the positioning of the light-transmitting elements **18** and the desired shape of the array of light-concentrating elements **20**, such as in the form of Winston cones. Material used to create the light-transmitting elements **18** and the light-concentrating elements **20**, such as a curable fluid with optical properties when cured, is then directed into the established channels within the preformed primary building material **16** phase of the composite panel **10**. A mold including cavities in the desired shape of the array is filled and then the fluid allowed to cure and solidify in the desired shape. The mold is then removed.

[0049] In another example of a method of fabricating the light-concentrating elements **20** to the exterior side **14**, a curable fluid with optical characteristics when cured may be applied in fluid form to the exterior side **14** of the previously formed primary building material **16**. The fluid may be a UV-curing ink or adhesive formulated to produce an optical polymer, preferably with a high refractive index. Light of an appropriate wavelength, dependent upon the fluid selected, may then be directed from the interior side **12** through either channels established in the primary building material **16**, or through light-transmitting elements **18** within such channels, to the curable fluid residing on the exterior side **14**. The light is preferably transmitting at one or more selected and controlled angles so that the fluid cures on the exterior side **14** in the desired shapes of lenses to establish the array of light-concentrating elements **20**. The light is transmitted for a controlled period of time so that curing of the fluid stops when the individual lenses are of the desired size and shape. Any excess fluid on the surface of the exterior side **14** that is not the subject of light curing is then removed and the cured material remaining forms the lens array. Additional light curing may be done as then needed. The advantage of this method of fabrication is that the individual light-concentrating elements **20** are automatically aligned with respective ones of the light-transmitting elements **18**.

[0050] The light-transmitting elements **18** and the light-concentrating elements **20** may be fabricated of any material that is transmissive of light in the visible and/or infrared range. The same material may be used for both, or different materials may be used. The light-concentrating elements **20** may be applied to either or both of the interior side **12** and the exterior side **14** of the panel **10**. The material selected may be glass or polymeric. Suitable polymeric materials include, but are not limited to, thermoplastics such as polymethylmethacrylate, polycarbonate, polyvinyl chloride, polyvinyl dichloride, polyvinyl difluoride, polystyrene, polypropylene, and polyester; thermosets such as optical-grade polyurethanes, epoxies, and acrylics. Materials that are transmissive in the wavelength range of about 8-14  $\mu\text{m}$  may be useful for the light-transmitting elements **18** and/or light-concentrating elements **20** when the light-concentrating elements **20** are located on the interior side **12** of the panel **10**. For example, that arrangement may be of use when the intent of the panel **10** is to transmit radiant heat out of a building to cool it.

[0051] The choice of material as the primary building material **16** of the panel **10** is relatively broad. The choice is dependent upon the particular structural and/or insulative

characteristics desired for the panel **10**. In one application, for which the panel **10** is to be primarily an insulative component of a building, the primary building material **16** may be selected from, but not limited to, foam, glass fiber, polymer microfibers, perlite, and aerogel; provided the material selected does not remove significant light from the light-transmitting elements **18**, through absorption or transmission, for example. In another application, for which the panel **10** is to be primarily a structural component of a building, the structural material **16** may be selected from, but not limited to, wood, concrete, and aluminum or other metallic material, provided the material selected does not remove significant light from the light-transmitting elements **18**. Further, the primary building material **16** may be, or may be joined thermally to, a material that functions as a storage mass. That is, the panel **10** or an array of the panels **10** may be used to transmit light that produces heat which is conducted to the storage mass material. When the panel **10** no longer aids in generating heat in the building, the storage mass material may produce heat for the building. In this application of the invention, the panel **10** aids in supplying a heat sink.

[0052] In further consideration of the material selected as the primary building material **16**, it is useful to evaluate the Refractive Index (RI) of the material. The RI of the material has an effect on the light-transmitting capability of the panel **10** when there is no air interface between the materials. Standard insulation materials do not transmit light without significant loss and scattering. If the primary building material **16** of the panel **10** is in direct physical contact with the light-transmitting elements **18**, and the structural material **16** has a RI equal to or greater than that of the material of the light-transmitting elements **18**, the majority of light desired to be transmitted through those elements will be scattered and/or absorbed by the primary building material **16**. However, a material selected as the primary building material **16** having a RI lower than that of the material of the light-transmitting elements **18**, then the light passing through the light-transmitting elements **18** will be reflected back and scattering and/or absorption by that phase of the panel **10** will not occur. Those skilled in the art will recognize that the greater the difference in RI between the selected material of the structural material **16** and the material of the light-transmitting elements **18**, the greater the number of angles of light transmission will result. When the RI differential is understood, the particular geometry of the array of light-concentrating elements **20** may be established to focus light to the light-transmitting elements **18** at angles that will result in light transmission rather than scattering or absorption. Those skilled in the art will recognize that any number of array geometries may be created to work well with the particular materials selected for the structural material **16** and the light-transmitting elements **18**.

[0053] Optical fibers may be treated or modified to increase the RI differential between the light-transmitting elements **18** and the primary building material **16**. For example, a glass fiber or an acrylic fiber may be coated with a fluorine-containing polymer, such as polyvinyl difluoride (RI=1.42). Alternatively, air with a RI=1, or polyvinyl acetate with a RI=1.47, may be adjacent to the fiber, or sheet for the panel construction of FIGS. 7-10. Examples of air in contact with the light-transmitting elements **18** include the use of glass or polymer fiber insulation, a packing material such as perlite or aerogel, or foam delaminated or otherwise

unattached to the surface of the light-transmitting elements **18**, to give an effective RI value that is that of air. In addition, materials such as polyvinyl acetate or polyvinyl difluoride may be foamed adjacent to the light-transmitting elements **18** to make direct contact therewith, or the unfoamed versions may be coated as a thin coating on the outside of the light-transmitting elements **18**, such as during a coextrusion fabrication process. When a coating or other treatment with relatively low RI value is directly contacted to the exterior surfaces of the light-transmitting elements **18**, the primary building material **16** may be selected without regard to its particular RI value. That is, the selected coating, rather than the selected primary building material **16**, causes the light reflection.

[0054] As expected for the function of the panel **10** of the present invention, there will be exposure to external elements, including sunlight itself, which may cause degradation of the materials chosen to fabricate it. For that reason, the materials may be treated to minimize ultraviolet degradation and oxidation. There exist standard commercially available antioxidants, such as hindered phenols, and UV absorbers, such as modified benzophenones that are available and can be added to the materials of construction. Similarly, additives and/or coatings may be employed in the formation of either or both of the light-concentrating elements **20** and the primary building material **16** to block UV light and/or infrared light to allow light transmission while avoiding transmission of damaging UV wavelengths and heating infrared wavelengths where lighting but not heating of the building is desired.

[0055] The panel **10** of the present invention may be used to save energy within a building by effectively drawing in the heat associated with sunlight without compromising insulative characteristics. The insulative properties of the panel **10** may be improved by increasing its thickness while still enabling light transmission through the light-transmitting elements **18**. The use of the light-concentrating elements **20** increases the percentage of light transmitted across the panel **10** with minimal reduction in physical properties of the primary building material **16**. In the configuration of the panel shown in FIG. 3, light passes mainly in one direction, from exterior to interior, so that individuals can see out of the building but others cannot see into the building. Further, the panel **10** of the present invention may be used any time there is an interest in bringing light across a thermal barrier. For example, it may be used as an improvement to a Trombe wall. It may be used to improve the characteristics of a conventional wall, such as by providing a better heat source as indicated herein. For example, the panel **10** may be affixed to a conventional wall structure, such as a concrete wall. The sun's light would pass through the panel **10** and heat the concrete. The concrete, in turn, may then be a thermal source for the building, and would retain heat without overheating the building. As air is exchanged within the building, the thermal mass of the concrete wall would heat that air. This arrangement may supplement or replace existing internal heating systems, dependent upon the amount of sunlight available. The use of a panel that selectively transmits light during the heating season while rejecting light during the warmer months of the year would be extremely useful for this application. The panel **10** of FIGS. 9-10 would be suitable for this purpose. A panel **10** of the present invention could also be used for solar hot water heating with the benefit of bringing the light

into the insulated envelope of the building such that water can be directly heated without the need for antifreeze solutions and heat exchangers. Still further, one or more of the panels **10** may be configured with an external appearance recognized as a conventional building exterior appearance. To aid this appearance, the light concentrating sheet can be painted any color on its inner surface wherever the light-transmitting element **18** is not attached or the primary building material **16** can be colored any desired color.

[0056] The present invention is an apparatus to improve lighting and/or energy usage characteristics of a building. The present invention is also a method of fabricating the structure with such characteristics. While the present invention has been described with particular reference to certain embodiments of the panel **10**, including the primary building material **16**, the light-transmitting elements **18** and the light-concentrating elements **20**, it is to be understood that it includes all reasonable equivalents thereof as defined by the following appended claims.

What is claimed is:

1. A light transmitting building panel comprising:

- a. a first surface and a second surface, the first surface including thereon one or more light-concentrating elements arranged to concentrate light striking the first surface;
- b. one or more light-transmitting elements arranged to receive concentrated light from the one or more light-concentrating elements, wherein each of the one or more light-concentrating elements extends from the first surface to the second surface; and
- c. a primary building material extending between the first surface and the second surface, wherein the primary building material spaces individual ones of the one or more light-transmitting elements from one another, and wherein the primary building material does not transmit light as well as the one or more light-transmitting elements.

2. The light transmitting building panel as claimed in claim 1 wherein the light-concentrating elements are arranged as an array of lenses.

3. The light transmitting building panel as claimed in claim 1 wherein the light-transmitting elements are optical fibers.

4. The light transmitting building panel as claimed in claim 3 wherein the optical fibers have a cross section that is not round.

5. The light transmitting building panel as claimed in claim 1 wherein the light transmitting-elements are sheets of optical material.

6. The light transmitting building panel as claimed in claim 1 wherein the light-transmitting elements form an extended grid of optical material.

7. The light transmitting building panel as claimed in claim 1 wherein the primary building material is a thermal insulator.

8. The light transmitting building panel as claimed in claim 7 wherein the primary building material is a foam insulation.

9. The light transmitting building panel as claimed in claim 7 wherein the primary building material is an insulative powder wherein the insulative powder is retained in the

panel between the first surface and the second surface, and wherein the second surface is formed of a light transmitting material.

**10.** The light transmitting building panel as claimed in claim 1 wherein the primary building material is a load bearing material.

**11.** A method for fabricating a light-transmitting panel having structural and/or insulative characteristics, the panel including a material used to form a primary building material with light-transmitting elements extending therethrough and light-concentrating elements on at least one surface thereof, the method comprising the steps of:

- a. injecting the material used to form the primary building material into a mold cavity of selectable dimensions and including an array of pins extending through the thickness of the cavity and arrayed in a pattern of selectable configuration of the light-transmitting elements;
- b. curing the material with channels in the shape of the pin array to form a panel;
- c. removing the array of pins from the channels;
- d. inserting a fluid having optical characteristics into the channels;
- e. curing the fluid to form the light-transmitting elements; and
- f. applying the light-concentrating elements to a surface of the panel

**12.** The method as claimed in claim 11 wherein the channels are in the form of individual ports.

**13.** A method for fabricating a light-transmitting panel having structural and/or insulative characteristics, the panel including a material used to form a primary building material with light-transmitting elements extending therethrough and light-concentrating elements on at least one surface thereof, the surfaces of the panel including an inner wall and an outer wall, the method comprising the steps of:

- a. extruding a plurality of the light-transmitting elements in a grid array,
- b. cutting the extruded light-transmitting element array to form a panel,
- c. affixed to the inner wall of the one surface of the panel;
- d. applying the material used to form the primary building material to fill the spaces within the light-transmitting element array; and
- e. affixing a molded array of the light-concentrating elements to the outer wall of the surface of the panel.

**14.** The method as claimed in claim 13 wherein the light-concentrating elements are formed by polymer injection molding.

**15.** The method as claimed in claim 13 wherein the material used to form the primary building material is a foamable polymer insulative material.

**16.** The method as claimed in claim 13 wherein steps c and e are reversed.

\* \* \* \* \*