

# Aplicaciones espaciales de los materiales de construcción

## Los obreros de la construcción rumbo a la Luna

Bibiana E. Paternina E.\*, Carmen D. Vargas D.\*\*

---

### Resumen

*El tema de las aplicaciones espaciales de los materiales de construcción es de candente actualidad. Investigadores de Estados Unidos, Japón y países miembros de la Agencia Europea del espacio (ESA) y un grupo multidisciplinario de la Universidad de Catalunya en España vienen trabajando desde hace dos años en la optimización de materiales de construcción a base de azufre para aplicaciones lunares y en el establecimiento de estrategias para la exploración de recursos naturales en superficies planetarias(76).*

*En este artículo se presenta una discusión sobre dos tipos de materiales adicionales al hormigón a base de azufre —el hormigón convencional y los metales—, sus ventajas y desventajas como materiales de construcciones permanentes en la superficie lunar. A su vez, se hace un análisis de las posibles construcciones que se pueden realizar en la Luna y los sistemas de mantenimiento de vida a la comisión delegada para estos proyectos especiales (148).*

*Las investigaciones de los materiales de construcción de aplicación lunar, y en especial el hormigón a base de azufre, pueden, a su vez, despertar el interés de los productores de concreto convencional en la Tierra, porque este producto, aparte de sus aplicaciones espaciales, puede resultar de gran atractivo, desde el punto (200) de vista económico y técnico, en la tecnología de producción de nuevos materiales de construcción.*

**Palabras claves:** Aplicación espacial, material de construcción, tecnología de producción de material.

### Abstract

*The topic of space application of building materials is a present concern. For two years, researchers from The United States, Japan, ESA (European Space Agency) members, and a multidisciplinary group from Universidad de Catalunya (Spain) have been working on the optimization of sulfur-based building materials in order to apply them on the Moon and to set strategies for exploring natural resources on planetary surfaces (76).*

Fecha de recepción: Septiembre 15 de 1998

---

\*Ingeniero Civil, Universidad del Norte, Barranquilla; Magister Ingeniería Civil-Geotecnia, Universidad de Los Andes, Bogotá D.C.; profesora Programa Ingeniería Civil, Universidad del Norte.  
(E-mail: [epaternina@guayacan.uinorte.edu.co](mailto:epaternina@guayacan.uinorte.edu.co))

\*\*Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad del Norte, Barranquilla.

*In this paper it is shown a discussion about two kinds of materials in addition to the sulfur-based concrete -such as conventional concrete and metals-, their advantages and disadvantages when used as materials for permanent buildings on the Moon surface. At the same time, pertinent statements are made to support the possible constructions which can be built on the Moon and the life-supporting systems for the assigned party for this special projects (148).*

*The researches on the building materials for Moon application and specially the sulfur-based concrete, can in turn arouse conventional concrete producers' interest because this product, besides its space application, can be very attractive for investors taking into account the economical and technical point of view (200) in the new construction material production technology.*

**Key Words:** Space applications, building material, material production technology

---

## 1. Generalidades

El programa lunar de los Estados Unidos concluyó el 19 de diciembre de 1972 con la llegada de los astronautas de la misión Apolo XVII. Desde entonces ningún ser humano ha vuelto a pisar la Luna.

Actualmente el interés por los viajes a la Luna vive un renacer en la opinión pública. Recientemente una sonda espacial norteamericana, *La Lunar Prospector*, ha detectado indicios de presencia de agua en las capas más superficiales en una zona del polo norte de la Luna, lo cual ha alimentado las esperanzas de establecer allí una pequeña colonia de personas en un futuro no muy lejano. Esto sería ventajoso al llevar a cabo misiones dirigidas a la ausencia de atmósfera, debido a la poca masa de la Luna para retener la transparencia del horizonte, lo cual facilita las observaciones astronómicas y disminuye el rozamiento con el aire y la poca aceleración de gravedad existente partiendo de las pequeñas dimensiones de la Luna y que unido a lo anterior hacen que la energía necesaria para escapar de la atracción

gravitatoria de la Luna sea mucho menor que la requerida para salir de la Tierra.

Hasta la fecha no se han realizado construcciones en la Luna, sin embargo agencias espaciales americana (NASA) y europea (ESA) preparan misiones para avanzar en la conquista de ésta, como también el Departamento de Ingeniería de la construcción de la Universidad Politécnica de Catalunya (Barcelona-España) a través de un grupo de profesores investigadores y estudiantes de la especialidad en Ingeniería de la construcción,<sup>1</sup> los cuales presentaron el año pasado en Barcelona la posibilidad de construir un hormigón a base de azufre y material granular lunar.

## 2. Materiales de construcción lunar

Existen tres materiales que *a priori* parecen de aplicación para construir en la Luna: El hormigón convencional, el hor-

---

<sup>1</sup> MATAS, J. (1998) *Construcciones en la Luna*. Tesina de Especialidad, Departamento de Ingeniería de la construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, 142 p.

migón de azufre y los metales. La utilización de los dos primeros debe estar asociada necesariamente al aprovechamiento de los recursos materiales del satélite, mientras que los metales deberán ser transportados desde la Tierra.

Los análisis realizados sobre rocas lunares dan una idea de los elementos que se pueden encontrar en el satélite. En las zonas de los mares abundan cristales pequeños de olivino y piroxeno, de color oscuro, lo que permite distinguir desde la Tierra los mares de las zonas de montaña. En éstas abundan los cristales grandes de albita y anorita, que tienen un color más claro.

### 2.1. *Hormigón convencional*

Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua que al endurecer resiste altos esfuerzos de compresión; pero si se le adiciona armadura puede resistir adicionalmente gran esfuerzo de tensión. El cemento se puede obtener a partir de sustancias cementantes del regolito (capa de arena en la superficie de la Luna). El proceso de fabricación, al igual que en la Tierra, requiere de temperaturas muy elevadas (1.200°C- 1.400°C) y grandes cantidades de energía, como también el transporte de una serie de maquinarias desde la Tierra.

El agua es un recurso extraordinariamente escaso en la Luna, y la que se puede extraer debe ser destinada al mantenimiento de los posibles sistemas de

vida y a la producción de combustibles para los cohetes. Es posible obtenerla transportando hidrógeno desde la Tierra, lo cual genera mayores costos.

El agregado que se va a utilizar puede ser el regolito, material en gran porcentaje de granulometría muy fina, lo cual implica una mayor superficie específica de los granos, lo que, a su vez, puede generar grietas en el producto final debido al fenómeno de retracción o disminución volumétrica que se favorece porque el ambiente lunar es completamente seco. Según muestras tomadas durante la misión, la armadura puede contribuir a disminuir la retracción, pero en la Luna no es posible utilizar grandes cantidades, porque encarece el producto, ya que debe ser transportado desde la Tierra.

Con base en lo anterior, el hormigón convencional será rentable si se tiene intención de producir cantidades importantes; en caso contrario es preferible descartar este material de construcción.

### 2.2. *El hormigón de azufre*

Mezcla de azufre con sustancia aglomerante y áridos lunares con material llenante.

El azufre es un elemento abundante en el regolito, y se encuentra formando parte de algunos minerales. Para su obtención no se requiere de temperaturas muy elevadas. La temperatura necesaria se puede conseguir con concentradores solares, que en la superficie de

la Luna son especialmente efectivas, pues los rayos del Sol no tienen que atravesar una densa atmósfera, como en el caso de la Tierra, y llegan con gran energía. El ahorro energético derivado de la utilización de azufre es considerable y se incrementa porque no se requiere agua, ya que el azufre reemplaza este componente y el cemento del concreto convencional.

Otra ventaja del azufre con respecto al hormigón convencional es que se puede mezclar con los áridos en condiciones de vacío, es decir, en ambiente lunar.

El concreto de azufre presenta una ventaja adicional con respecto al convencional, el cual se debía fabricar en un ambiente presurizado y esperar un tiempo antes de despresurizar, con el fin de disminuir el fenómeno de retracción. El hormigón de azufre es moldeable en condiciones de vacío. La resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como el comportamiento a la fatiga del hormigón de azufre son superiores a la que se obtiene en hormigones convencionales. A su vez, la obtención del 70% de resistencia a compresión se produce en el hormigón de azufre a las 24 horas, a diferencia de los siete días requeridos para el hormigón convencional. Esta última ventaja es de mucha importancia a nivel terrestre, donde las solicitaciones de carga sobre las estructuras son considerables. A nivel de la superficie lunar pierde valor, porque en la Luna no se necesitan altas resistencias, debido a la pequeña gravedad existente.

La posible desventaja del hormigón de azufre radica en que los ciclos de temperatura afectan negativamente, lo cual provoca una disminución del módulo de elasticidad. A pesar de ello, la frecuencia de estos ciclos (uno cada mes) es tan pequeña que se puede asegurar una larga vida a las estructuras de este material (20 años).

El azufre se debe mezclar con los áridos a una temperatura de 160°C, de manera que el azufre se encuentre en estado líquido y con la suficiente fluidez para envolver a los agregados. La extracción de azufre se debe realizar durante el día, para aprovechar la energía solar.

Una diferencia sustancial entre el hormigón convencional y el hormigón de azufre es que el primero endurece durante un proceso de fraguado, mientras que el segundo lo hace mediante un proceso de cristalización, lo que impide el fenómeno de retracción después del endurecimiento, el cual se puede presentar en el hormigón convencional debido al ambiente seco en la Luna y a los factores mencionados. El fenómeno de retracción no se presenta en el concreto de azufre, ya que éste durante el proceso de fraguado baja de 114 a 96°C, con el consecuente cambio volumétrico. Por debajo de esta temperatura ya no se producen más transformaciones de la estructura cristalina del azufre ni, por consiguiente, grietas por retracción.

### 2.3. *Los metales*

Las estructuras metálicas son más lige-

ras que las del hormigón, pero la producción de metales de buen comportamiento mecánico, como el acero o el aluminio, en la Luna sería muy cara debido a la gran cantidad de energía que requieren estos procesos de producción. Si se desea construir una estructura metálica en la Luna, resulta más económico transportar desde la Tierra sus componentes y ensamblarlos allá.

En las piezas que forman parte de estructuras metálicas adquieren gran importancia los fenómenos de inestabilidad (pandeo y abolladura), debido a las pequeñas dimensiones de las secciones. Este problema es mucho menos importante en estructuras de hormigón en las que se utilizan espesores y dimensiones grandes.

### 3. Posibles construcciones en la Luna

Previsiblemente, la evolución de las construcciones en la Luna se debe producir en tres fases:

- En un futuro inmediato se debe construir algún tipo de pavimento para evitar el levantamiento de polvo al paso de las máquinas; polvo que tarda mucho tiempo en asentarse, lo cual perjudica algunos procesos.
- A mediano plazo se deben transportar estructuras livianas desde la Tierra capaces de mantener en su interior un ambiente apto para la vida de un reducido grupo de personas escogidas para la investigación.

- A largo plazo se deben construir estructuras de carácter permanente.

### 4. Sistemas de mantenimiento de vida

Se ha comprobado que el ser humano puede resistir durante un tiempo limitado en el interior de un traje de protección, por lo que es necesario crear ambientes controlados para que el grupo investigador pueda permanecer durante un tiempo prolongado en el satélite. Se necesita un recinto lleno de aire y protegido del vacío, de las grandes variaciones de temperatura y de las radiaciones ionizantes del ambiente lunar.

Existen muchos procesos desarrollados para obtener oxígeno a partir de los materiales que forman el regolito. El abastecimiento de oxígeno a partir de los recursos naturales de la Luna está, por tanto, asegurado, ya sea utilizando el regolito o explotando el agua que se ha encontrado, considerando la escasez de este recurso.

El nitrógeno, otro elemento que permite producir aire respirable, no se encuentra en la Luna en cantidades apreciables, por lo que será necesario transportarlo desde la Tierra.

Para obtener alimentos y agua para los astronautas será necesario utilizar sistemas de reciclaje, con el fin de minimizar la utilización de agua lunar.

### Conclusiones

El hombre, en su afán por conquistar la

Luna, ha estudiado tres tipos de materiales de construcción, sus ventajas y desventajas, al momento de pensar en la construcción de bases permanentes en la Luna. Entre estos materiales se encuentran:

- **Hormigón convencional.** La fabricación *in situ* y el comportamiento de este material presenta los siguientes inconvenientes:
  - El agua líquida es inestable en las condiciones de presión y temperatura que se producen en la Luna, lo cual obligaría a hormigonar en una cámara presurizada.
  - La masa de hidrógeno y fibras que será necesario transportar desde la Tierra para fabricar un metro cúbico de hormigón es de unos 30 Kg.
  - El ambiente extremadamente seco de la Luna incrementará el fenómeno de retracción en el concreto, y reducirá aún más su resistencia a la tracción.
  - El fenómeno de fluencia también cobrará más importancia que en la Tierra.
- **Hormigón de azufre.** Este material presenta una gran ventaja sobre el anterior, porque todas las materias primas necesarias para fabricarlo, azufre y áridos, se pueden obtener de los recursos naturales de la Luna en forma relativamente sencilla.
  - El hormigón de azufre no presenta retracción, ya que el azufre se cristaliza.

- Se puede fabricar y moldear en condiciones de vacío, que es el caso del ambiente lunar.

- **Metales.** Este tipo de material genera altos costos de transporte, pero mientras no se disponga de un sistema de producción de hormigón en el satélite resulta económico. El ensamblaje se debe realizar en la Luna, y se deben utilizar metales muy ligeros y de buenas propiedades como el aluminio.

Las estructuras metálicas para las viviendas temporales de los comisionados deben combinarse con una estructura hinchable, lo cual mantendría controlado el ambiente y garantizará su vida.

El peso de las estructuras lunares es de poca importancia a nivel de cálculos estructurales, con respecto a las estructuras en la Tierra, porque la gravedad de la Luna es una sexta parte de la terrestre y su masa es 81 veces inferior a la de la Tierra.

Estas estructuras lunares se deben recubrir con una capa de regolito, para protegerlas de las grandes variaciones de temperaturas que se producen en la mayor parte de la superficie lunar y de las radiaciones. A su vez, se deben presurizar, debido al vacío que existe en la Luna.

Para facilitar el movimiento de maquinarias y equipos durante la ejecución de construcciones a corto plazo será

necesario construir pavimentos para evitar el levantamiento de polvo al paso de éstos. Como material de base se utilizará la fracción más gruesa del tamizado del regolito, la cual se extenderá en las zonas requeridas, y un geotextil.

#### Referencia

MATAS, J. *Construcciones en la luna*. Tesina de Especialidad. Departamento de Ingeniería de Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 1998.