

# Sistema Constructivo Sostenible “Pisos y Pavimentos con Agregados Residuales”

A. Cisneros Mayen, Departamento de Organización del Espacio - UCA

**Resumen** — El presente trabajo de investigación, pretende demostrar las posibilidades de incluir como agregados en la fabricación de materiales para pisos y pavimentos, desechos residuales, se divide en dos partes principales, una parte investigativa, donde se aborda una serie de pruebas en laboratorio con la inclusión de lodo de celulosa en las mezclas de concreto para pisos monolíticos, baldosas y adoquines, con resultados satisfactorios para uso peatonal y espacio público, esto implicaría una reducción considerable de desechos al convertirlos en materia prima. La otra parte se enfoca en el desarrollo de una propuesta diseño de viviendas en altura de interés social en un terreno de propiedad pública en el Centro Histórico de San Salvador (CHSS) y la aplicación de los pisos investigados dentro del proyecto desarrollado.

**Índice de términos**— adoquines, celulosa, concreto, materiales, sostenibilidad.

Esta investigación fue apoyado en parte por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto ISCYC.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de reducir la cantidad de desechos industriales y al potencial que tienen muchos de estos para ser reciclados y convertidos en materia prima para la producción de materiales de construcción, aunado esto a la escasez de proyectos de vivienda en la tipología de interés social, y al gran déficit habitacional de esta en los centros históricos de nuestras ciudades, se hace necesario orientar hacia esta tipología las propuestas de diseño a desarrollar para ofrecer una alternativa ante la creciente demanda e intenciones de la revitalización de este uso en los centros históricos, de forma que sean proyectos accesibles para el sector de escasos recursos y que puedan ser proyectos exitosos construidos utilizando sistemas constructivos sustentables.

## OBJETIVOS

Desarrollar una investigación sobre la incorporación del lodo de celulosa como agregado en la mezcla de concreto para aplicación en pisos, y recubrimiento térmico en paredes.

Desarrollar propuestas de conjuntos habitacionales de interés social en los centros históricos, con un sistema constructivo sustentable (madera y lodo de celulosa).

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización de este trabajo, consta de dos tipos:

- Investigativa, en la cual se realiza la búsqueda de información referente tanto a la realización de proyectos constructivos en el centro histórico de San Salvador y las normativas que aplican para estos, así como también información técnica referente al uso de materiales para pisos

de concreto; en base a esta información se realizara la propuesta de diseño.

- Experimental, en la cual se llevan a cabo diferentes pruebas con los materiales propuestos para ser aplicados como componentes para las mezclas de concreto a ser utilizadas en las aplicaciones para pisos y así obtener resultados en base a los cuales se puedan realizar las conclusiones o recomendaciones del trabajo.

### *Desarrollo de pruebas*

En este apartado se presenta la información referente a las pruebas desarrolladas para establecer las propiedades y factibilidad de utilización de las mezclas de concreto con incorporación de lodo de celulosa para la aplicación en pisos.

#### *1) Elaboración de especímenes para ensayos de compresión y modulo de ruptura.*

La mecánica para el desarrollo de la investigación para la parte 1, se basa en la implementación del lodo de celulosa como un agregado para las mezclas de concreto y así desarrollar una dosificación que cumpla con los requisitos adecuados para su implementación en pisos.

Los pasos para determinar el comportamiento que genera el lodo de celulosa en conjunto con el concreto se hizo a partir de las siguientes pruebas:

- Resistencia a la flexión con modulo de ruptura.
- Resistencia a la compresión.
- Pruebas de desgaste.
- Elaboración de especímenes vigas y cilindros para implementación de pisos monolíticos y baldosas de concreto.

En las pruebas iniciales se elaboraron especímenes cilíndricos con 0%, 5% y 10% de sustitución de arena por lodo de celulosa para ser ensayados a las edades de 14 y 28 días y especímenes prismáticos (vigas) con sustitución de 0% y 5% para ensayos de módulo de ruptura a los 14 y 28 días.

Posteriormente se elaboraron especímenes cilíndricos con sustitución de un 3%, 7% y 13% para ser ensayados a las edades de 7, 14 y 28 días con la finalidad de obtener más datos que permitieran un mejor análisis de las pruebas realizadas.

Elaboración de especímenes para la implementación de pisos de adoquín:

Para la incorporación de lodo de celulosa en mezclas para pisos, para la elaboración de adoquines; nos basamos en lo descrito en el manual del Curso del taller de adoquines del Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC). Para realizar estas pruebas se elaboraron únicamente especímenes tipo adoquín con 7%, 10% y 13% de sustitución de arena por lodo de celulosa para ser ensayados en edades de 7, 14 y 28 días.

En las instalaciones del laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC) se desarrolla la etapa práctica de la investigación sobre la incorporación de lodos de celulosa como componente para la fabricación de mezclas de concreto para aplicación en pisos. Al inicio se realizan pruebas con una inclusión de lodo de celulosa, equivalente al 10% de la cantidad de agregado fino (arena) estipulado para el diseño de mezcla. Algunos datos a generales a tener en consideración para el diseño de mezcla de concreto:

- Humedad de la arena 8%
- Absorción de la arena 4%
- Humedad del lodo de celulosa 55%
- Revenimiento buscado 2" a 3".

El detalle de los datos sobre elaboración de especímenes patrón, es decir, sin sustitución de arena por lodo de celulosa, para ensayos de ruptura por compresión y módulo de ruptura se presentan en la tabla 3.1.1; estas pruebas se llevaron a cabo durante la mañana y al exterior, realizándose 3 bacheadas, la primera estimada para 42 litros de mezcla para

la elaboración de 6 especímenes de cilindros y la segunda y tercera, estimadas para 37 litros correspondientes a la elaboración de 2 especímenes de vigas por cada bachada. Tabla 3.1.1: Datos elaboración bachadas de especímenes patrón.

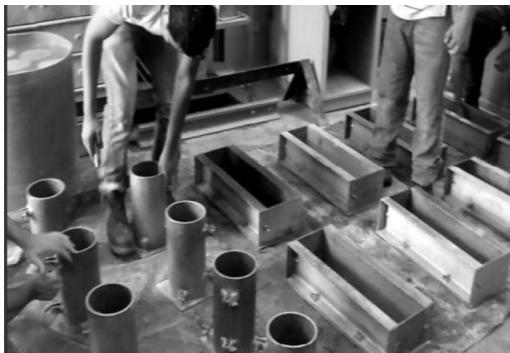


Fig. 1 Preparación de moldes para colado de especímenes.

TABLA I

DATOS ELABORACION BACHADAS DE ESPECIMENES PATRON BASE

# BACHADA	VOLUMEN MEZCLA	AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	LODO	REVENIMIENTO	ESPECIMENES
1	42 LITROS	7.86 lts.	15.35 kg	33.14 kg	43.20 kg	0 kg	2 1/2 "	6 cilindros
2	37 LITROS	6.92 lts.	13.51 kg	27.74 kg	38.05 kg	0 kg	2 1/2 "	2 vigas
3	41 LITROS	6.92 lts	15.34 kg	33.14 kg	43.22 kg	0 kg	2 1/2 "	2 vigas

TABLA II

DATOS ELABORACION BACHADAS CON 10% SUSTITUCION DE ARENA POR CELULOSA

BACHADA	VOLUMEN DE MEZCLA	AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	LODO	REVENIMIENTO	ESPECIMENES
# 1	42 LITROS	10.5 lts.	15.35 kg	29.83 kg	43.20 kg	3.31 kg	2"	4 CILINDROS

TABLA III

DATOS ELABORACION BACHADAS CON 5% SUSTITUCION DE ARENA POR CELULOSA..

BACHADA	VOLUMEN DE MEZCLA	AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	LODO	REVENIMIENTO	ESPECIMENES
# 1	25 LITROS	6.28 lts.	9.14 kg	17.75 kg	25.71 kg	1.97 kg	2 1/4"	4 CILINDROS
# 2	37 LITROS	9.07 lts.	13.51 kg	27.74 kg	38.05 kg	1.46 kg	2 1/2"	2 vigas
# 3	37 LITROS	8.97 lts	13.51 kg	27.74 kg	38.05 kg	1.46 kg	2 1/2"	2 vigas

En el caso de las mezclas con sustitución del 5% del agregado fino por lodo de celulosa, las cantidades de agua según la mezcla de diseño debían ser 4.68lts. 6.92lts y 6.92lts para la primera, segunda y tercera bachada correspondientemente, las cuales tuvieron que ser aumentadas hasta las cantidades mostradas en las tablas, para lograr una mezcla trabajable y con un revenimiento dentro del rango buscado.



Fig. 2 Especímenes con sustitución de 3%, 7% y 13% de arena por lodo de celulosa.

## 2) Elaboración de especímenes para adoquín

Además de la incorporación de lodo de celulosa en mezclas para pisos de concreto, se propone incorporarlo a la mezcla de materiales para la elaboración de adoquines; para lo cual nos basamos en lo descrito en el manual del Curso del taller de adoquines del Instituto Colombiano de Productores de

Cemento (ICPC). Para definir una dosificación base [ICPC, 1998:p.7] con la cual realizar las pruebas.

El procedimiento para la elaboración de los especímenes para adoquín, se mantiene igual al de especímenes cilíndricos en la parte de preparación de materiales, sustituyendo la grava por chispa y mezclando los materiales en la concretera, pero con una mezcla considerada seca, es decir, que la proporción de agua para la mezcla es menor que en una mezcla normal.

Una vez elaborada la mezcla para adoquines, esta fue colocada en una maquina vibro compactadora la cual fue previamente engrasada, para posteriormente realizar la elaboración de los especímenes de adoquín.



Fig. 3 Maquina para fabricar adoquines (propiedad del ISCYC)

### 3) Resultados de las pruebas.

De acuerdo a las pruebas realizadas, para la implementación de pisos monolíticos y baldosas de concreto, las mezclas de 3% y 7% eran las que más se acercaban a los resultados requeridos.

Para la implementación de pisos en elementos de adoquines la mezcla que más se adecuaba fue la de 7% de incorporación de lodo de celulosa. A partir de estos resultados, con lo visto en el desarrollo de las pruebas a nuestro criterio proponemos para uso en:

- Ciclo vías
- Plazas publicas
- Plazas de estacionamientos
- Aceras internas y externas
- Patios
- Pasillos

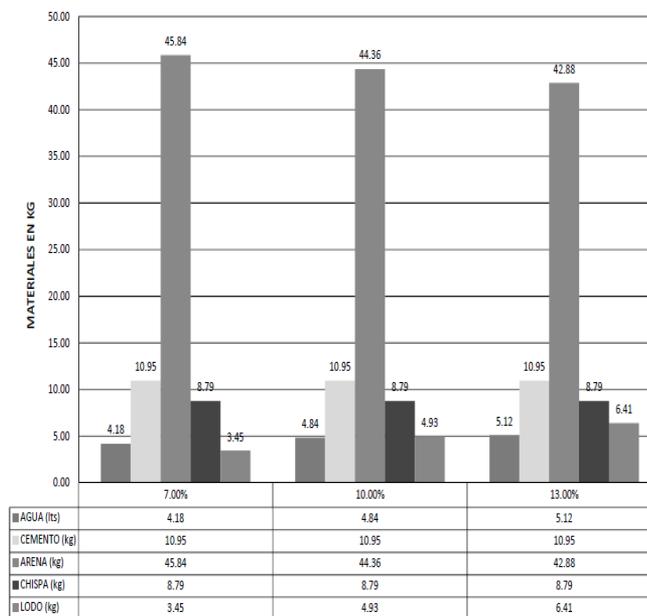


Fig. 4 Cantidades de material por dosificación

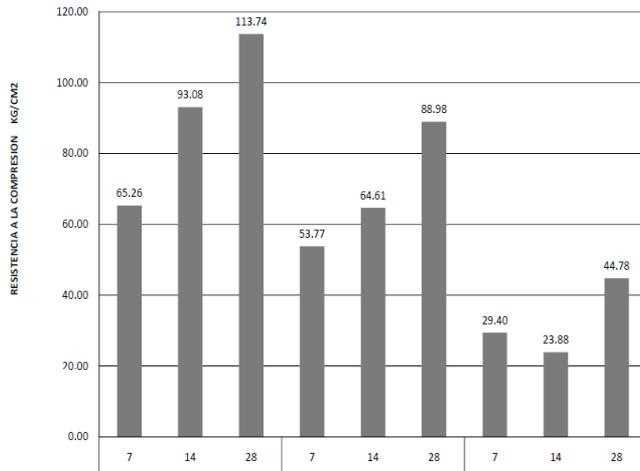


Fig. 5 Resultados en prueba piloto

#### MODELO DE APLICACIÓN

Para el segundo objetivo del trabajo que consiste en la aplicación de los sistemas constructivos sostenibles, se identifica una parcela en el centro histórico de San Salvador propiedad del Vice ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano el cual se localiza en el barrio San Francisco, específicamente en la intercepción entre la Avenida España y la 9ª Calle Orientey consiste en el desarrollo del diseño de una propuesta de vivienda en altura de 3 niveles en un edificio habitacional de 21 unidades con una tipología de apartamentos de 3 tipos de 1, 2, 3 habitaciones y un espacio para la implementación del comercio con la conceptualización de combinación de usos. La sustentabilidad de este proyecto va de la mano con la implementación de:

- Lodo de celulosa
- Uso de la madera
- Energías limpias
- Captación de agua lluvia
- Iluminación y ventilación natural.

- Criterio técnico, uso de paredes livianas de madera y lámina.

El anteproyecto se da a conocer por medio de imágenes, volumetría, planos arquitectónicos y planos técnicos. Todo ello para la comprensión del mismo y debido a su potencial puede servir como base para la realización de futuros proyectos de vivienda implementados en el centro de San Salvador.

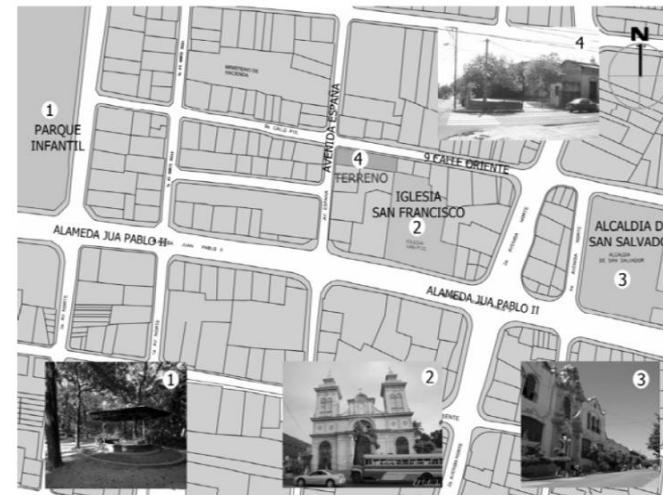


Fig. 6 Plano con la de ubicación del terreno

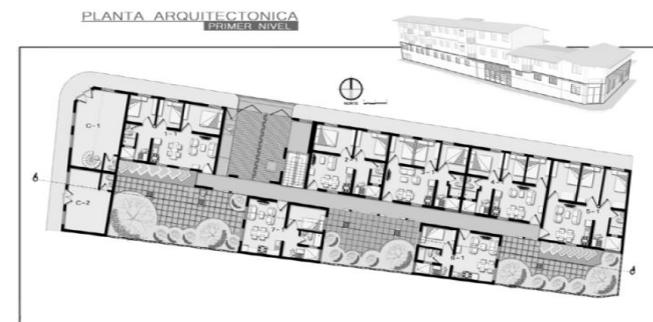


Fig. 7 Planta arquitectónica 1º nivel



Fig. 8 Elevaciones y secciones

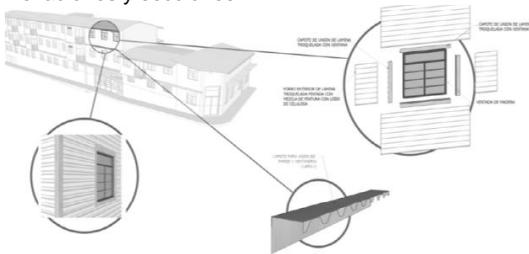


Fig. 9 detalles de ventanas

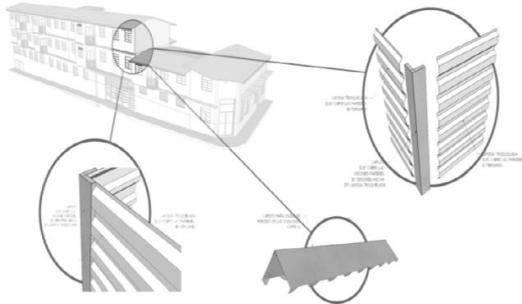


Fig. 10 detalle de esquineros y repisas

## CONCLUSIONES

A pesar de las limitantes físicas, especialmente el área y configuración de los terrenos disponibles en el CHSS, al desarrollar un diseño funcional y que haga uso eficiente del espacio disponible, es factible desarrollar proyectos de múltiples unidades habitacionales.

El conocimiento sobre sistemas constructivos tanto convencionales como alternativos, permite el desarrollo de propuestas modulares, que presentan ventajas tanto en la ejecución de los proyectos, como en la flexibilidad de los espacios internos para adaptarse ante la variabilidad de las necesidades de cada usuario.

En el caso de las mezclas para aplicación en pisos de concreto, podemos concluir que las mezclas que representan una mejor opción son las que poseen 3% y 7% de sustitución de arena por lodo de celulosa; ya que la tendencia de la reducción de la resistencia a la compresión según se incrementa el porcentaje de celulosa, se invierte en el 7% siendo esta resistencia mayor que el de la mezcla del 10% y 5% de sustitución de arena por lodo de celulosa y la diferencia en pesos volumétricos de estas mezclas no es tan marcada y la del 3% aunque no representa una mayor utilización del lodo de celulosa, si representa las resistencias más altas.

De acuerdo a lo observado durante las pruebas de resistencia a la flexión de las mezclas propuestas, podemos concluir que si bien el lodo de celulosa tiene un efecto de reducción en la resistencia a flexión, influye en otras características estructurales que generaron una ruptura menos abrupta de los especímenes.

En el caso de las mezclas para aplicación de adoquines, de acuerdo a las pruebas de resistencia a la compresión, la mezcla de 7% de sustitución de arena por lodo de celulosa es la mejor opción en comparación a las mezclas de 10% y 13%, por lo que el resultado concuerda con las pruebas para piso de concreto; a pesar de esto es necesario realizar más pruebas para lograr un resultado más fiable y concluyente.

De acuerdo a la revisión de los datos obtenidos, el personal del ISCYC, comenta que en el caso de los adoquines, es necesario seguir desarrollando más pruebas para lograr obtener datos que permitan dar más parámetros para poder apreciar la factibilidad o no del uso de estos.

Al respecto de la aplicación para pisos monolíticos y baldosas coladas in situ, insistieron en no poder dar una recomendación formal al respecto pero que envista a los resultados la aplicación de estos para tráfico peatonales y plazas de estacionamiento debería ser factible aclarando fervientemente la restricción a este tipo de uso.

#### RECOMENDACIONES

Ante las condiciones inestables del suelo como lo es el caso del CHSS, se recomienda la implementación de sistemas constructivos más livianos como el de madera y lodo de celulosa, que reduzcan el peso de la edificación, permitiendo la utilización de una losa de fundación que permita distribuir más efectivamente dichas cargas al terreno.

Según lo observado en las pruebas a resistencia a la flexión, se recomienda continuar con el estudio de los efectos del lodo de celulosa en las mezclas, ampliando los análisis de estudio de estas, más allá de los parámetros de resistencia a la flexión y compresión, para conocer los efectos en otras características estructurales de las mezclas propuestas.

Para futuras pruebas, para la aplicación tanto de pisos de concreto como de adoquines, se recomienda realizar en mayor medida pruebas de módulo de ruptura, ya que las normativas y referencias encontradas para este tipo de aplicaciones hacen referencia a principalmente a datos y especificaciones en base al módulo de ruptura y no a la resistencia a la compresión.

#### *Trabajos de graduación:*

[1] "Vivienda en el Centro Histórico de San Salvador (CHSS) en Terrenos Públicos. Aplicación de Sistemas Constructivos Sustentables" por los Arquitectos: Elmer Avimael Beltrán Vásquez, René Gustavo Iraheta Flores, Bill Alberto Martínez Pacheco, y Edenilson Ezequiel Peña Ordóñez. publicado octubre 2012

[2] "Investigación de Sistemas Sostenibles para Pisos y su Aplicación en Espacios Públicos e Inmuebles con Valor Patrimonial" por los arquitectos: Rocío Sánchez, Carlos Alirio Guerra y Pablo Isaí Meléndez Aguilar. a ser publicado.

#### BIOGRAFÍA

Arturo Cisneros Mayen Nació en San Salvador el 31 de diciembre de 1940 obtuvo el grado de arquitecto en la Universidad de el Salvador (UES) y posgrados en: diseño y construcción en madera en la universidad del Bio-Bio en Chile y en gestión de proyectos de investigación en ciencia y tecnología en la universidad centroamericana José Simeón Cañas (UCA).

Su experiencia laboral incluye diseño y construcción de edificaciones, consultor de la "Política Municipal de Vivienda" de la "propuesta de anteproyecto de marco técnico normativo para el diseño y construcción de parcelaciones, lotificaciones y urbanizaciones" y del "plan maestro de una plaza pública de ventas ambulantes en Sonsonate". Ha desempeñado los cargos de: director del Fondo Nacional de Vivienda Popular (FONAVIPO), vicepresidente del Colegio de Arquitectos de El Salvador (CADES) y del Instituto Salvadoreño de la Construcción (ISC) ha sido par evaluador de educación superior del Ministerio de Educación (MINED)

Publicaciones: diseño y construcción en madera (UCA2004), vivienda modular en madera (UCA2005), tecnología en construcción (UCA2006), sistema constructivo sostenible (UCA2012)

En 2012 fue nombrado "Arquitecto del Año" por el CADES. Actualmente Se desempeña como docente investigador de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.