



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA

Facultad
de Ingeniería
& Ciencias





Como Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad de La Frontera estamos consolidándonos en las áreas de materiales de construcción y procesos productivos, construcción sustentable y desarrollo de infraestructura y gestión de proyectos de construcción, a través del Departamento de Ingeniería de Obras Civiles.

Con un fuerte compromiso regional y una activa relación con distintos actores del rubro, tanto del sector público como privado, esta unidad académica se está posicionando, desde la Región de La Araucanía, como uno de los referentes educativos y de desarrollo tecnológico más importantes en la zona sur del país en los campos de la ingeniería y construcción.

Importantes en esta consolidación han sido las redes de vinculación nacional e internacional que, con el tiempo, se han ido estableciendo junto con la mejora en equipamiento y dotación de un cuerpo académico altamente capacitado.

Este avance ha dado pie a investigaciones que promueven, por ejemplo, el desarrollo de nuevos materiales y de tecnología con un sello sustentable en distintos ámbitos de la construcción.

Para conocer y compartir parte de estas experiencias, el Departamento presenta la sexta edición de la Revista de Ingeniería de Obras Civiles (RIOC), publicación que, desde un punto de vista científico – tecnológico, da cuenta de avances en investigación y desarrollo en este campo a nivel país, como en el extranjero.

Sin duda, la continuidad en el tiempo de RIOC se constituye como un valioso aporte al compromiso de esta institución con la sociedad por resolver problemáticas asociadas al rubro de la construcción, por cuanto la divulgación de estos estudios permite mantener actualizada a la comunidad profesional y técnica en esta materia.

Dr. Rodrigo Navia Diez
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias
Universidad de La Frontera



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
& Ciencias



RIOC es una revista de carácter científico - tecnológico que proporciona un foro nacional e internacional para la difusión de la investigación y desarrollo en todos los ámbitos relacionados con la construcción, entendiéndose áreas como materiales de construcción, ciencias de la ingeniería aplicada, arquitectura, edificación, obras civiles, gestión de proyectos, entre otras.

En un momento en que existe una gran necesidad en todos los profesionales del área de la construcción por estar continuamente actualizados, para optimizar el uso de recursos, utilizar nuevas tecnologías que sean sustentables y eficientes, y a su vez, emplear nuevos métodos de construcción y materiales, RIOC proporciona un espacio para compartir y divulgar conocimientos, de manera tal, de abrir la discusión en estas temáticas planteadas, entregando información esencial que ayudará a mejorar la eficiencia, la productividad y la competitividad en los profesionales del área de la construcción. Por lo tanto, es una lectura esencial para proporcionar a los profesionales del área, académicos y alumnos que trabajan e investigan en este campo, un material de discusión que renueve y actualice sus conocimientos.

En este contexto, RIOC hace extensiva la invitación a todos los interesados a publicar sus artículos con la finalidad de divulgar la producción científica - tecnológica de académicos, investigadores, profesionales y estudiantes en temas relacionados con el desarrollo del área de la construcción.

Comité Editorial Asociado
Revista Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
& Ciencias



Director

Gonzalo Valdés

Editora Responsable

Viviana Letelier

Editores Asociados

Camila Parodi

Javier Vidal

Daphne Bormann

Revista Ingeniería de Obras Civiles

Avda. Francisco Salazar 01145
Temuco
Región de La Araucanía
Chile

Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera

Fono:

+ 56 (45) 2325680

Fax

+56 (45) 2325688

Correo Electrónico:

rioc@ufrontera.cl

Comité Editorial

Ph.D Pedro Muñoz,

Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chile., Talca, Chile

Ph.D. Tatiana Amaral

Universidade Federal de Goiás, Brasil.

Ph.D. Adriana Martínez

Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

MSc. Carlos Aguirre

Escuela de Construcción Civil, Universidad Católica de Chile,
Santiago, Chile.

Ph.D. Galo Valdebenito,

Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Gonzalo Valdés,

Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.

Ph.D. Mario Salazar,

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana,
Morelia, México.

Ph.D. Oscar Link,

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción,
Concepción, Chile.

Ph.D. Oscar Reyes,

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada,
Bogotá, Colombia.

MSc. Ramón Botella,

Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ph.D. Virginia Vásquez,

Departamento de Arquitectura, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Viviana Letelier,

Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.

Ph.D. Alejandra Calabi,

Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.



Sumario

07. **La importancia de la Constructividad en el Hormigón Arquitectónico.**
The importance of Constructiviness in Architectonic Concrete
Guillermo Lira
16. **Determinación del valor de sorción de azul de metileno para fillers mediante la técnica de espectrofotometría visible.**
Determination of sorption of methylene blue trough visible spectrophotometry.
Álvaro Muñoz, Rey Adame, Pedro Limón, Israel Sandoval.
22. **Influencia de la adición de aditivo en el proceso de cocción sobre piezas cerámicas de gran formato.**
Influence of waste addition on large geometry clay bricks during firing process
M.P. Morales, P. Muñoz, M.A. Mendivil, M.C. Juárez, L. Bibire
27. **El Proceso Analítico Jerárquico para la valoración de la sostenibilidad de las infraestructuras.**
Using the Analytic Hierarchy Process for valuation of the sustainability of infrastructure.
Leonardo Sierra

Envío de artículos

Los artículos enviados a la revista RIOC deberán ser trabajos originales que no han sido publicados previamente ni estar presentados a otra revista. Los artículos pueden ser escritos en inglés o español y deberán ser enviados en versión electrónica en formato .doc o .docx. Los artículos deberán ser subidos a través de la página web www.rioc.cl para lo cual debe registrarse y generar un envío. El artículo será enviado a evaluadores externos especialistas en los temas específicos para su revisión. El Editor podrá solicitar revisiones y correcciones antes de tomar una decisión final de aceptación o rechazo del artículo.

Formato de los artículos

El artículo deberá cumplir el formato adjunto en la WEB, en hoja tamaño carta, dos columnas de igual ancho y espaciado de 1 cm, con un margen en el lado izquierdo y derecho de 1 cm, superior de 3 cm e inferior de 2 cm. La letra del texto debe ser Calibri 10 espaciado sencillo. Los trabajos que no cumplan con el formato indicado, serán devueltos sin ser enviados al Comité Revisor.

Primera Página

Los artículos deberán tener una página de título con el nombre completo del o de los autores, su filiación y correo y número de contacto del autor principal. El título debe estar en castellano e inglés.

Resumen, abstract y palabras claves

Se deberá indicar el resumen, este no debe exceder los 1800 caracteres (con espacios) y debe resumir los aspectos claves del artículo y una síntesis de las aplicaciones y conclusiones más importantes que el artículo entrega. El abstract debe ser una traducción correcta del resumen al inglés. Se deben incluir cuatro palabras claves tanto en español como en inglés.

Contenido del artículo

El artículo debe estar bien redactado y estructurado. La estructura del artículo debe incluir como mínimo las siguientes secciones: introducción, discusión y desarrollo, y conclusiones. La introducción debe establecer claramente el propósito del trabajo. La discusión y desarrollo deberá incluir los principales resultados y observaciones del trabajo, la metodología utilizada, etc. Las conclusiones deben ser relevantes para los lectores. El formato del contenido debe cumplir la configuración de página señalada en Formato de artículo

Referencias

Las referencias deberán reducirse a las indispensables que tengan relación directa con el trabajo enviado. En cada cita se consignarán los datos en el formato APA.

Tablas y fórmulas

Las tablas y fórmulas (ecuaciones) deberán ser numeradas secuencialmente en el mismo orden en que aparecen en el texto y haciendo referencia a ellas como: tabla 1, tabla 2..., fórmula 1, fórmula 2.... etc., según corresponda. Estas deben ser introducidas dentro del texto en el mismo orden en que son referenciadas. En el caso de las tablas, el título debe presentarse sobre la tabla con una fuente Calibri 8, con un espaciado anterior de 6 puntos. Interlineado sencillo. Dejar un espacio tras la tabla.

Figuras

Las figuras pueden incluir gráficos, esquemas, diagramas y fotografías. Deben numerarse en forma secuencial, en el mismo orden en que son referenciadas en el texto como: figura 1, figura 2, etc., y el título debe presentarse bajo la figura con una Fuente Calibri 8, con un espaciado anterior de 6 puntos. Interlineado sencillo. Las figuras deben ajustarse al ancho de columna. En caso necesario, es posible utilizar el ancho de impresión cambiando la sección. Dejar un espacio antes de la figura.

El equipo editorial, conformado por dos profesionales del área de la Ingeniería en Construcción y el Editor, tienen la responsabilidad de recibir los artículos y emitir un primer juicio sobre los aspectos formales, además de rechazar un artículo cuando este no cumpla con las instrucciones básicas para su publicación y esté fuera de la temática de la Revista o bien no cuente con suficiente mérito científico y académico.

El Editor enviará el artículo a un evaluador externo a la entidad o institución editora de la revista especialista en el área del tema, el cual deberá realizar su evaluación de acuerdo a una pauta previamente confeccionada. Este evaluador externo deberá rechazar, aceptar o bien aceptar con distinción un artículo. En caso de rechazo se deberá fundamentar esta situación, luego el artículo será devuelto al autor con las observaciones pertinentes.

Los evaluadores deberán verificar que se cumplan todos los aspectos formales, además de comprobar que las conclusiones estén acordes con los diseños metodológicos expuestos y los objetivos planteados. Los evaluadores conocerán la identidad de los autores, pero estos desconocerán a sus evaluadores.

De existir observaciones, sean menores o medianas, y si el artículo está aceptado, el Editor se contactará con el autor para que este realice las modificaciones indicadas en un plazo prudente, una vez realizadas estas modificaciones el artículo estará en condiciones de ser publicado.

Si el artículo no es aceptado será enviado a otro árbitro; si el rechazo es confirmado, el artículo lo será definitivamente y se comunicará al autor esta decisión y se enviarán las evaluaciones correspondientes.

Si el artículo es rechazado por un evaluador y aceptado por un segundo, se enviará el artículo a su autor con las evaluaciones correspondientes, una vez que se hayan realizado las modificaciones el Comité Editorial lo incluirá nuevamente en la lista de artículo para evaluar.





La importancia de la Constructividad en el Hormigón Arquitectónico.

The importance of Constructiveness in Architectonic Concrete.

Guillermo Lira¹

¹Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
guillermo.lira@ufrontera.cl, teléfono: +56-45-2325685.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
06-07-2016
Aceptado
07-11-2016
Publicado
20-11-2016

Palabras Clave:
Hormigón
Arquitectónico
Constructividad
Diseño
Arquitectónico

Article history:

Received
06-07-2016
Accepted
07-11-2016
Available
20-11-2016

Keywords:
Architectonic
Concrete
Constructiveness
Architectural
Design

Resumen

El proceso constructivo de una obra expresada en sus elementos estructurales como Hormigón Arquitectónico, resulta particularmente complejo. Esto teniendo en consideración que para un resultado final exitoso, el Arquitecto debe involucrarse en forma previa, en la fase conceptual del diseño, en los aspectos constructivos y estructurales de esta técnica.

Por otra parte el desarrollo tecnológico de la humanidad y la constante especialización ha eliminado de los procesos, especialmente el de la construcción, la adecuada visión de conjunto. Antes al Arquitecto era el diseñador, calculista y constructor de su obra. Por lo tanto tenía esa necesaria sabiduría del saber hacer de su oficio (Egipto, Grecia, Roma, Edad Media, Arte Gótico, Renacimiento).

Ahora la actividad está especializada, el Arquitecto diseña, el Ingeniero desarrolla los cálculos de estabilidad de la estructura y el Constructor construye. Por lo tanto el diseño cada vez más se ha desligado del proceso constructivo y estructural, siendo en la mayoría de los casos esta disociación, el origen de los malos resultados en la materialización de las edificaciones.

El presente artículo en este contexto, asocia el concepto de constructividad como atributo del diseño, al proceso constructivo del Hormigón Arquitectónico, demostrando que sin su aplicación, no es posible materializar una obra exitosa, que cumpla con los parámetros exigibles a esta expresión del material con calidad de terminación.

Abstract

The construction process of a work out in its structural elements such as Architectonic Concrete is particularly complex. This considering that the end result is successful, the architect must be involved in the prior, in the conceptual design phase in the construction and structural aspects of this technique.

Moreover, the technological development of humanity and the constant specialization has eliminated processes, especially in the construction, proper overview. Before the Architect was the designer and builder, and structurally designed his buildings. So had that wisdom necessary know-how of their trade (Egypt, Greece, Rome, Middle Ages, Gothic Art, Renaissance).

Now the activity is specialized, Architect designed, the Engineer makes the stability calculations and the Builder builds. Therefore the design has increasingly detached from the constructive and structural process, and in most cases this dissociation, the origin of the poor results in the realization of buildings.

This paper in this context, the concept of constructiveness associated as an attribute of design, Architectural Concrete construction process, showing that without implementation is not possible to realize a successful play, which meets the required parameters to this expression of material finishing quality.

1. Introducción.

Uno de los materiales que más refleja el mundo contemporáneo, es el hormigón. Sería imposible concebir el desarrollo actual de la humanidad sin las prestaciones constructivas que este material ofrece.

En el ámbito del diseño arquitectónico, su aplicación si bien es de un origen antiguo, donde por ejemplo la ingeniería romana sacó gran partido del material, este se perdió en su desarrollo tecnológico con la caída de dicho imperio.

El hormigón se reinventa con el advenimiento de la Revolución Industrial del siglo XIX, siendo utilizado principalmente en estos nuevos inicios en obras de Ingeniería, dada su resistencia mecánica, al clima adverso y al fuego, sin que requiriera mantención.

En la arquitectura de los inicios del siglo XX, los precursores de un nuevo orden lo aplican con gran éxito, siendo este el paso definitivo para su consolidación como una de los grandes hitos constructivos de la era contemporánea.

Lamentablemente las técnicas iniciales para su materialización, no permiten mostrarlo en la arquitectura como elemento de expresión a la vista y se le recubre, ya sea con mortero para pintarlo o con enchapes de ladrillos o piedra. Sin embargo, con la llegada del brutalismo como estilo arquitectónico, este se puede presentar tal como resulta luego del descimbre. Es decir la expresión del hormigón con las huellas que dejan los moldajes de madera en un principio e industrializados después, en los muros, con sus rebabas, escapes de lechada, juntas de hormigonado y elementos de soporte. Esta expresión que se puede apreciar en obras hasta nuestros días, es de una obra gruesa, es decir de un edificio sin terminar.

Esta forma de mostrar el hormigón, se agota con el tiempo, y los mandantes empiezan a exigir mayor calidad. Afortunadamente el desarrollo tecnológico con nuevos moldajes industrializados con cara de contacto con el hormigón en base a placas contrachapadas de madera, la compactación con vibradores de inmersión de alta frecuencia, los aditivos superplastificantes, la elaboración industrializada del hormigón, el transporte mecanizado en camiones mixer, el vertido de la mezcla mediante bombas de hormigonado, etc. permiten disponer de elementos suficientes para elaborar y plasmar un hormigón de alta calidad de terminación.

Esta nueva manufactura se traduce ahora en la posibilidad de expresar un muro de hormigón a la vista pero con calidad de terminación, basada en un color parejo y lisura principalmente. Ahora el hormigón ya no se expresa como obra gruesa, si no como hormigón visto con calidad de terminación en un solo acto. Esta expresión del material es lo que se denomina Hormigón Arquitectónico.



Figura 1.- Muro norte expresado en Hormigón Arquitectónico, edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, (Autor).

Como se puede apreciar, esta nueva posibilidad de expresión del material, es bastante más compleja de materializar para un resultado exitoso, que para una simple obra gruesa a la vista.

Por lo señalado, el llevarla adelante implica un acabado conocimiento de la técnica constructiva, para que esta incida en el diseño y se logre el resultado esperado. Y es en éste aspecto trascendente donde el concepto de constructividad, reviste la mayor importancia. Este artículo procura demostrar que sin constructividad no es posible materializar una obra en hormigón arquitectónico.

2. ¿Qué es constructividad?

Se podría definir como “El grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto” [3]. O también “La manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción, sujeto a todos los requisitos generales del edificio terminado” [3]. CIRIA es una organización neutral independiente, sin fines de lucro, que facilita actividades de colaboración que ayudan a mejorar la industria de la construcción.

3. La constructividad como un atributo del diseño.

A partir de las definiciones anteriores es necesario desarrollar las siguientes precisiones:

La constructividad es un atributo del diseño: La constructividad describe la manera en que “un diseño” facilita su posterior construcción; no la manera en que “un proyecto”, “un tipo de administración” o incluso “un equipo profesional” facilita su construcción. La constructividad es un atributo del diseño en sí. [5]

La constructividad es graduable: La constructividad no es absoluta, si no graduable, lo que implica que todo proyecto tiene un cierto grado de constructividad que va, teóricamente, desde cero hasta infinito.

Un diseño tiene un alto grado de constructividad si “considera atentamente el modo en que se ha de construir el edificio y los condicionantes prácticos que actúan en este proceso” [5], mientras que un diseño tendrá un bajo grado de constructividad si “no tiene en cuenta las realidades prácticas del proceso constructivo o [contiene características de diseño que] están reñidas con ella”. [6]

Se puede decir entonces para la asociación que se pretende demostrar en la materialización de una obra expresada en hormigón arquitectónico, que la constructividad:

- Es un atributo del diseño
- Su objetivo es lograr facilidad y eficiencia en la construcción
- Es graduable y medible

4. Importancia de la constructividad como atributo del diseño desde el punto de vista del proyecto

La ventaja de incorporar conocimiento de los procesos de construcción en el diseño, se explican en los resultados finales de calidad, tiempo y costo.

Calidad: “Diseños con mejores grados de constructividad permiten tener faenas más sencillas y fluidas, acelerar la curva de aprendizaje de la mano de obra, disminuir la tasa de errores y/o no conformidades, reducir el riesgo técnico, controlar la cantidad de cambios de diseño en obra e, indirectamente, reducir la cantidad de problemas de ocurrencia posterior a la construcción”. [5]

Mientras más horas se “gasten” en la elaboración del diseño, estas serán recompensadas con creces en las facilidades de los problemas resueltos antes, y no en la obra ya iniciada.

Tiempo: “Diseños con mejores grados de constructividad permiten tener faenas más rápidas, reducir el tiempo utilizado en reparaciones y/o repetición de tareas por no conformidades, disminuir la necesidad de capacitación, acortar los desplazamientos de mano de obra y maquinarias, y en general disminuir el tiempo total de construcción. Indirectamente, afecta favorablemente el tiempo de trabajo del Arquitecto y equipo proyectista, al reducir la cantidad de consultas que se hacen desde la obra y reducir la atención de reclamaciones posteriores por trabajos defectuosos.” [5]

Costos: “Soluciones de diseño más simples implican ahorro por repetición de tareas mal ejecutadas o no-conformidades, optimización de materiales, menor necesidad de supervisión y menor cantidad de desperdicios. A largo plazo, los costos de mantenimiento y/o reparación del edificio también decrecen, lo que representa ahorro para el usuario y para el constructor (post-venta)”. [5]

Cabe señalar que para el Arquitecto, estos tres atributos relacionados directamente como resultado de un buen grado de constructividad en su proyecto, deben ser una obligación ética y moral. La constructividad de los diseños implica asumir la responsabilidad que este tiene sobre la construcción y sobre la eficiencia del proceso.

A continuación se identifican algunas condicionantes técnicas necesarias para una obra expresada en hormigón arquitectónico. Para ello se aplicará la experiencia del autor como uno de los Arquitectos que diseñaron constructivamente el nuevo edificio para la Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, construido en la ciudad de Temuco, Chile, entre los años 2002 y 2003.

4.1. Definición de hormigón arquitectónico

Hormigón arquitectónico corresponde a una edificación de hormigón armado, el cual está expuesto a la vista como superficie en la estructura terminada y contribuye en forma determinante a su aspecto visual, situación que se encuentra claramente indicada en las especificaciones técnicas y contrato de la obra.

“Un criterio de aceptación de un elemento de hormigón arquitectónico logrado, sería aquel que presenta un aspecto agradable con una variación mínima de color y textura, sin defectos superficiales, cuando es visto a una distancia de 6mt. [4]



Figura 2.- Edificio Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, Temuco, seleccionado en la muestra de la XIV Bial de Arquitectura, 2004, Arquitectos: Andrés Abarzúa Gómez y Guillermo Lira Cifuentes; Empresa Constructora: Wörner S.A. [4]

4.2. Planificación y diseño del hormigón arquitectónico

Quizás más que en ningún otro proceso constructivo, el desarrollo de una obra expresada como hormigón arquitectónico, requiere de una fase de planeamiento tan rigurosa como en este caso. Ello porque teniendo como norte el resultado final esperado, el Arquitecto debe en primer lugar fijar las estrategias de su diseño, en función del proceso constructivo ya definido. Esto involucra un conocimiento riguroso del moldaje a utilizar, sus características, propiedades, limitaciones, etc. En base a este conocimiento deberá establecer su diseño basado en los módulos definidos por la marca y modelo del mismo. En esta etapa deberá además del aspecto constructivo, incorporar los criterios del diseño estructural, para que en conjunto tanto el arquitecto como el Ingeniero Calculista y el Ingeniero Constructor concuerden los aspectos relevantes de cada área.

“Punto aparte merecen los aspectos administrativos-técnicos de la materialización de la obra, especificaciones técnicas, bases de la licitación y posteriormente contrato de obra. En todos ellos deberá quedar plasmado en forma clara la intención de la obra, la forma como se logrará y las sanciones económicas si dicho fin no se cumple.” [4]

4.3. Tratamiento de fachadas, juntas de dilatación y bajadas de aguas lluvias para el hormigón arquitectónico

En la concepción del diseño, el Arquitecto debe considerar que las fachadas del edificio se deben presentar a la vista en forma limpia y sin elementos funcionales que la ensucien (juntas de dilatación, bajadas de aguas lluvias). En este sentido si bien es cierto que no se puede prescindir de ellos, estos deben

ocultarse de la vista en la composición arquitectónica, salvo de que formen parte intencionada de la misma.

En el caso del edificio en estudio, la junta de dilatación vertical necesaria entre los dos cuerpos, se oculta mediante el traslape de muros, como se puede observar en las figuras N°3 y N°4.

Por otra parte las bajadas de aguas lluvias, necesarias para un clima como el de la ciudad de Temuco, se ocultan también en el traslape de los muros, y por el interior de los muros, engrosándolos a modo de pilar falso y por el interior de los pilares de acero que se pueden apreciar en el último piso retranqueado.



Figura 3.- Edificio Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, traslape de muros para ocultar juntas de dilatación y bajadas de aguas lluvias. (Autor)

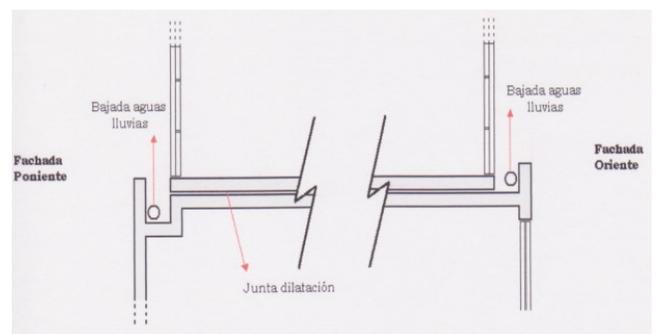


Figura 4.- Tratamiento de juntas de dilatación del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera. [7]

4.4. Moldaje para el hormigón arquitectónico

En cuanto al proceso constructivo el más relevante sin lugar a dudas para lograr el objetivo propuesto, es el moldaje. Esto por qué, de este elemento depende en gran medida el resultado de lisura y de color homogéneo esperado, ya que se

está buscando obtener una superficie con calidad de terminación. En este sentido es un error pensar en utilizar cualquier tipo de encofrado y dejar así que el contratista resuelva los problemas que va a presentar durante la construcción. Por lo tanto el arquitecto debe proyectar su obra constructivamente, definiendo con anterioridad al momento de diseñar el encofrado que utilizará.

En primer lugar el arquitecto deberá diseñar su obra en atención a la disponibilidad de la modulación de placas del moldaje elegido, con este antecedentes deberá definir para las fachadas, la ubicación de los vanos y en acuerdo a ellos la ubicación de las canterías en el muro.

Las canterías permiten dar un ritmo a las fachadas y relacionar estas líneas con otros elementos de la composición volumétrica y fachadas, tales como los palillajes de las ventanas (antepechos, dinteles). Por otra parte las canterías gracias a su sombra, permitirán ocultar las juntas frías o de trabajo entre las fases de hormigonado y las huellas de los pasadores de los moldajes (codales). De esta manera la fachada se expresara limpia y sin la presencia de los resultados de usar estos elementos sin cuidado.

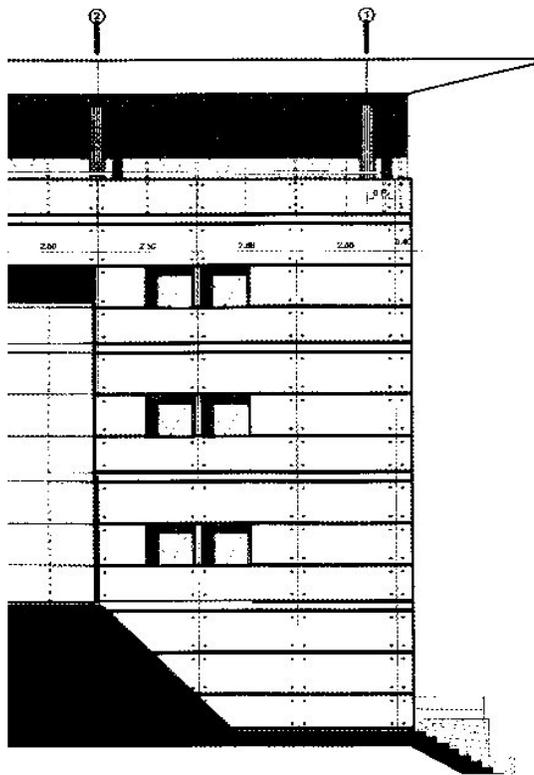


Figura 5.- Plano constructivo de moldajes, aplicado en el edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, (diseño-proceso). [4]



Figura 6.- Expresión final en el muro terminado exactamente igual a lo indicado en el plano constructivo. [4]

Ejemplo de este concepto diseño-proceso constructivo, fue el aplicado en el edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera.

Para este edificio primero se diseñó la fachada en estricto apego a las dimensiones de las placas del moldaje, vanos y palillaje del muro cortina, de manera de crear un ritmo y un aspecto unitario en todo el conjunto aun cuando existiera cambio de materialidad (hormigón – vidrio). El edificio, gracias a sus canterías horizontales, muestra unidad en todas sus fachadas, sin ser estas iguales en vanos llenos ni en materialidad.

Primero se elaboró el plano de elevaciones como un plano constructivo con la modulación de todos los elementos involucrados (canterías, placas, botones decorativos, etc.). Este moldaje permite además incorporar los negativos (piezas de contrachapado) y los botones decorativos de acrílico atornillados a la placa.

La unión vertical de cada placa del encofrado está ubicada en forma precisa en todos los cuerpos del moldaje, de manera que el escape de la lechada inevitable deje una línea que se acuse en la fachada del muro terminado.



Figura 7.- Moldaje Peri Vario con vigas GT 24 (Edificio Fac. de Medicina Universidad de La Frontera). [4]

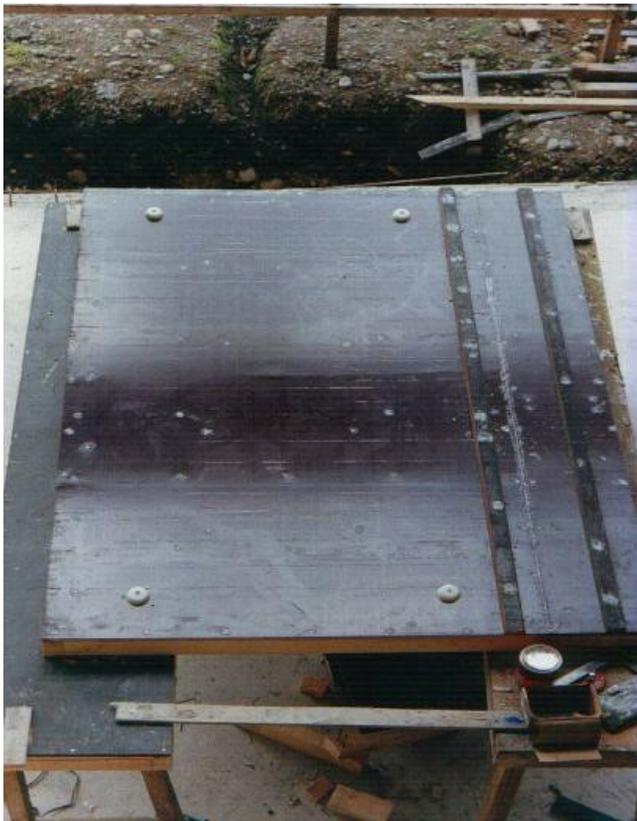


Figura 8.- Placa de moldaje con elementos necesarios para imprimir los botones decorativos y canterías (Edificio Fac. de Medicina Universidad de La Frontera). [4]

Otro aspecto interesante que llevó a definir la placa Peri con la Viga reticulada GT 24, en este proyecto, fue la facilidad para formar un paño completo de muro (piso a cielo) en un solo cuerpo de encofrado. Esta condición permitía concretar un muro completo en toda su altura, dejando las juntas de

trabajo a nivel de losas. Además el moldaje por su menor peso relativo, podía ser movido con la grúa. Fundamental resulta para el hormigón arquitectónico el hormigonado por paños completo evitando al máximo las juntas frías.

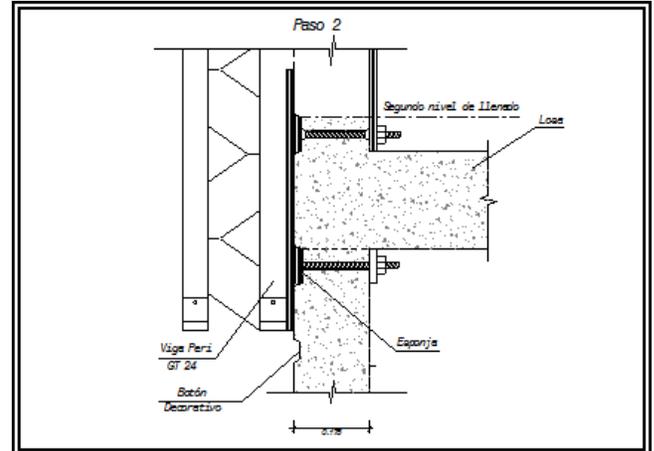


Figura 9.- Placa de moldaje con botones decorativos y canterías para tratamiento de junta de construcción en hormigón arquitectónico, marcando con una doble cantería en la cabeza de la losa. (Edificio Fac. de Medicina Universidad de La Frontera) (Autor)

En la imagen N°9 de la secuencia de hormigonado, muro-losa-muro, se aprecia como la cantería permite ocultar las juntas de hormigonado y la huella de los pasadores del moldaje (codales).

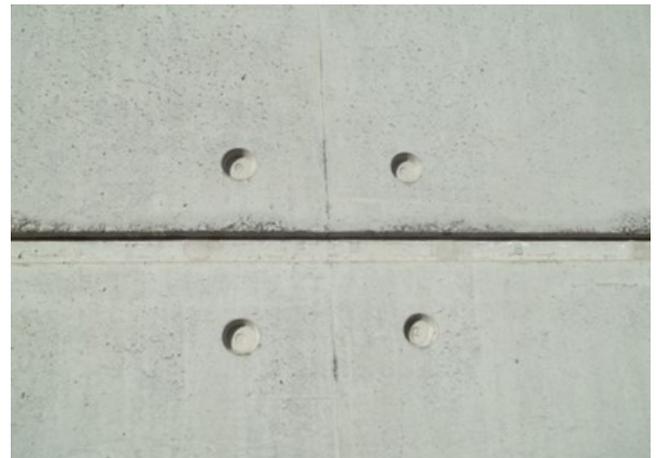


Figura 10.- Vista del muro terminado con la impresión de los botones decorativos, la cantería que permite ocultar la huella de los pasadores del moldaje (codales) y la línea vertical del escape de lechada coincidente entre el paño superior y el inferior (Edificio Fac. de Medicina Universidad de La Frontera) (Autor)

En todo caso la condición más importante de la lisura, se obtiene mediante la utilización en este tipo de moldaje, de la placa contrachapada con revestimiento fenólico, la cual como

superficie de contacto con el hormigón garantiza un óptimo resultado. El éxito también debe asociarse al empleo del desmoldante indicado por el fabricante del encofrado.

4.5. El acero en el hormigón arquitectónico

Otro aspecto a tener en cuenta en este proceso constructivo, es la adecuada atención en fase de diseño y constructiva de las canterías. Estos elementos en bajo relieve del muro, implican cuidar el distanciamiento de las armaduras exteriores más expuestas y el sistema de uniones de las mismas. Dado que el muro no lleva revestimiento, se debe asegurar la adecuada protección de la armadura por parte del hormigón, con el distanciamiento mínimo de 3cms al fondo de la cantería. Esto implica tener el cuidado por parte del Ingeniero Calculista, de indicar correctamente las dimensiones y colocación de los elementos en sus planos de detalle de las fachadas, y del constructor de respetarlos. No está demás que el Arquitecto resalte esta condición en sus especificaciones técnicas y planos de detalles.

Por otra parte se debe tener la precaución de amarrar las armaduras con alambre galvanizado, previniendo oxidaciones futuras y manchas en los muros.

4.6. La dosificación en el hormigón arquitectónico

Como el sistema constructivo en hormigón requiere que el constructor siga estrictamente la cadena de eventos asociados que permite un buen resultado final, este no es posible obtener si no se considera una dosificación adecuada del mismo.

En este caso y para el edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, se aplicó la siguiente dosificación por m³:

Características del hormigón H-25 (90) 20-14:

Dosificación:

- Arena: 855 kg/m³
- Gravilla ¾": 980 kg/m³
- Cemento: 385 kg/m³ Bío Bío Especial (siderúrgico)
- Agua: 186 Lt/m³
- Aditivo. Plastificante: 1,63 Lt/m³ Plastiment® H.E

Asentamiento de cono: 10-15 cm. con características de bombeable.

El cemento siderúrgico seleccionado por los arquitectos, corresponde al más apropiado para un hormigón

arquitectónico. Esto en consideración a que el hormigón debe ser lo más claro posible para una óptima expresión en la fachada, situación que en Chile sólo entrega este tipo de producto.

El asentamiento de cono 14 de Abrams, por otra parte, corresponde a una mezcla muy fluida, que asegura el llenado de todos los espacios del moldaje y hace posible constituir una superficie lisa. Además se facilita el trabajo para la bomba de hormigonado, sistema de colocación adecuado al resultado esperado por la rapidez y calidad involucrada.

4.7. El vertido y la compactación en el hormigón arquitectónico

La fabricación del hormigón se realiza en planta y se traslada en camión mixer, hasta la obra donde se lleva a los moldajes mediante bomba de hormigonado.

El hormigón debe depositarse en capas entre 20-30 cm., de tal forma que tanto las burbujas superficiales como las internas se eliminen completamente.

Existen tres etapas de compactación que se realizan con vibrador de inmersión de alta frecuencia, las que son necesarias para dar la calidad necesaria al acabado. Primero se eliminan los nidos y huecos de mayor tamaño, luego con una agitación adicional ascienden las burbujas a la superficie. La segunda etapa se inicia luego de 20 min., donde se vuelve a vibrar para eliminar la mayoría de las burbujas que están en la superficie del moldaje. Por último, pasados 5 min. se vibra nuevamente para asegurar que la superficie esté libre de burbujas. Es importante recordar que este procedimiento se aplica no sólo para obtener la resistencia de diseño si no que también para llevar el hormigón a todas las partes del moldaje asegurando que no se presenten segregación, nidos e imperfecciones.

Especial cuidado se debe tener en esta etapa para evitar el "lavado" del desmoldante desde las partes altas del moldaje. Para ello es recomendable utilizar mangas para depositar el hormigón en las partes bajas y colocar polietileno en la parte superior para facilitar posteriormente el descimbre y que no se salga la superficie del muro. Recordar que el hormigón arquitectónico no acepta reparaciones.

4.8. El curado y desmolde del hormigón

El curado además de ser un factor primordial para alcanzar la resistencia especificada sin agrietamientos, es importante para obtener un color homogéneo en la superficie por lo que se deben tomar precauciones adicionales, ya sea en el tiempo de

curado como con las condiciones climáticas.

El desmolde se realiza a las 72 hrs. para evitar además de los daños en la superficie, los posibles descascaramientos en zonas donde están adheridas las canterías y botones decorativos. Además se debe programar que el tiempo transcurrido antes del desmolde debe ser igual durante todo el desarrollo de la obra.

4.9. Cuidados posteriores del hormigón arquitectónico

La impermeabilización de la superficie del hormigón, es generalmente el único tratamiento posterior al que se debe recurrir para mantenerlo, ya que actúa como barrera de protección contra los elementos contaminantes que se encuentran en la atmósfera.

También la impermeabilización ayuda a evitar que el muro se manche con humedad, la cual además de proteger la superficie de la suciedad y hongos, favorece su apariencia estética ya que impide cambios de color productos de la absorción de agua.

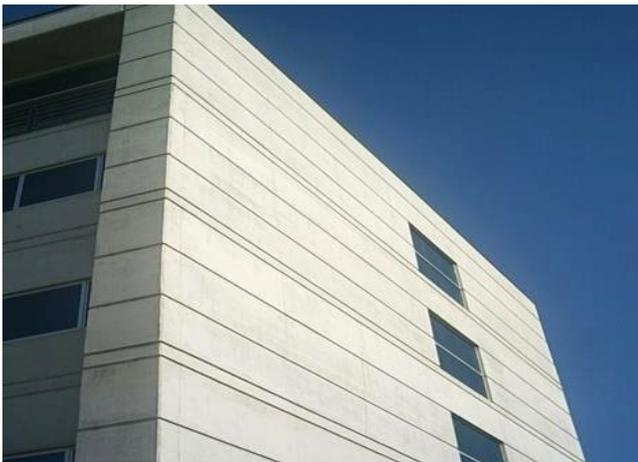


Figura 11.- Vista del muro terminado fachada norte (Edificio Fac. de Medicina Universidad de La Frontera) (Autor)

4.10. Obras que se plantearon como hormigón arquitectónico sin ese resultado esperado

A continuación se entregan dos ejemplos de obras que en su origen fueron planteadas como expresadas en hormigón arquitectónico, pero donde dicha intención no quedó plasmada en la obra final.

La primera obra corresponde a parte del edificio del Spa Balthus ubicado en Santiago, donde algunos sectores de fachadas fueron expresados como hormigón arquitectónico y otros como hormigón a la vista. No existe tratamiento de las

juntas de hormigonado observables a simple vista.

El otro ejemplo corresponde al edificio del Liceo Camilo Henríquez en la ciudad de Temuco. Donde se aprecian situaciones similares.

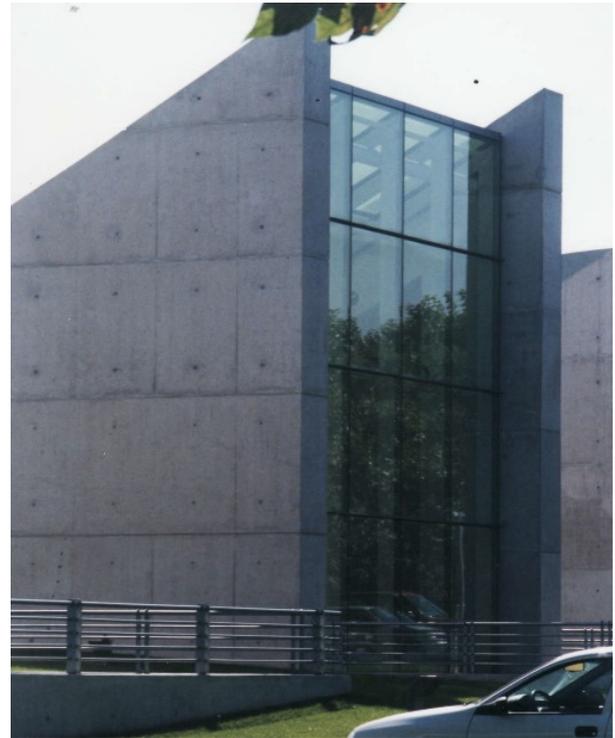


Figura 12.- Parte del edificio Spa Balthus, donde se aprecia el nulo trabajo estético para de las juntas de hormigonado, escape de lechada y elementos de sujeción de los moldajes (Autor)



Figura 13.- Edificio Liceo Camilo Henríquez, Temuco (intención de Hormigón Arquitectónico no lograda).

En la fachada del edificio del Liceo Camilo Henríquez, (Fig. 13) se observan deficiencias en la modulación de las placas del

moldaje, ya que no existe continuidad de líneas en las uniones de las placas ni estas con los palillajes verticales y marcos de las ventanas. Además las huellas de los elementos de sujeción del moldaje están a la vista.

Finalmente cabe mencionar que existen otras obras concebidas como hormigón arquitectónico que no lograron dicho objetivo, debiendo “maquillarse” ya sea con pintura o revoque para disimular los defectos o bien quedar como “hormigón a la vista”, con la consecuente molestia del Arquitecto y mandante. Se podría decir entonces que dichas obras no se concibieron aplicando el concepto de constructividad descrito en este apartado.

5. Conclusiones:

Conocidas las definiciones de constructividad y de hormigón arquitectónico y alguno de los procesos necesarios para que este se materialice, surge la pregunta: ¿Será posible lograr que una obra de hormigón expuesto se pueda materializar como hormigón arquitectónico, sin considerar la constructividad como parte integral tanto en el diseño como en el proceso constructivo?

Siendo la cadena de eventos necesaria de observar previamente para una obra de hormigón, está claro que sin constructividad una obra expresada como hormigón arquitectónico resultaría imposible. Lo anterior considerando los múltiples pasos y acciones que implica concebir y luego materializar una obra expresada en hormigón con CALIDAD DE TERMINACION.

Cabe señalar que el arte de la “buena construcción”, debe ser el norte en este tipo de procesos constructivos, donde los profesionales del área, tanto Arquitectos como Ingenieros Calculistas e Ingenieros Constructores, deben trabajar mancomunadamente desde el diseño para lograr el resultado esperado. Está demostrado que esto no es fácil de lograr, pues a la gran cantidad de pasos que comúnmente conlleva una obra de hormigón, se deben sumar los aquí descritos en forma resumida. A lo anterior se suma el involucramiento de los

trabajadores de la empresa constructora, quienes son los que tienen en sus manos la materialización final de la obra.

Por otra parte este artículo pretende aportar a la literatura arquitectónica, aclarando el concepto y destacando las profundas diferencias que existen en el proceso constructivo del “Hormigón a la Vista” y lo denominado “Hormigón Arquitectónico”. Este último concepto surge entonces como consecuencias de las nuevas técnicas y procesos constructivos aplicados al hormigón en forma intencionada. Por lo tanto es un nuevo concepto a aplicar en la literatura de la especialidad.

Por último en lo más importante este artículo además de constatar lo planteado en su título, pretende difundir y definir en forma más precisa este interesante sistema constructivo, y relacionarlo con el concepto de constructividad como atributo del diseño, aportando conocimiento y transmitiendo experiencias a los profesionales que se interesen en diseñar y construir una obra en expresión de hormigón arquitectónico con un buen resultado, y a la altura de sus expectativas.

6. Bibliografía.

- [1] Canessa V., A., & Fuentealba A., M. (2004). XIV Biental de Arquitectura. Santiago, Chile: Yunleng Sánchez H.
- [2] Castro Vera, G. (s.f.). Hormigón Arquitectónico. Temuco, Chile: Universidad de La Frontera.
- [3] Construction Industry Research and Information Association [CIRIA]. (1983). Buildability: An Assessment. Londres: CIRIA.
- [4] Lira Cifuentes, G. (2012). ¿Que es el hormigón arquitectónico? Revista Ingeniería de Obras Civiles [RIOCI], 38-47.
- [5] Loyola Vergara, M., & Godsack Jarpa, L. (2010). Constructividad y Arquitectura. Santiago, Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad de Chile.
- [6] Stewart, A. (1990). Constructividad. Barcelona, España: Ediciones CEAC S.A.
- [7] Vergara Bosman, F. E. (2005). Estudio Comparativo Hormigón Arquitectónico y Hormigón a la Vista. Temuco, Chile: Universidad de La Frontera.



Determinación del valor de sorción de azul de metileno para fillers mediante la técnica de espectrofotometría visible.

Determination of sorption of methylene blue through visible spectrophotometry.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
11-04-2016
Aceptado
21-06-2016
Publicado
20-11-2016

Palabras Clave:
Sorción
Azul de metileno
Espectrofotometría
UV/VIS

Article history:

Received
11-04-2016
Accepted
21-06-2016
Available
20-11-2016

Keywords:
Sorption
Methylene blue
Visible
spectrophotometry

Alvaro Muñoz¹, Rey Adame¹, Pedro Limón¹, Israel Sandoval¹

¹Lasfalto S. de R. L. Grupo Surfax, Zapopan, Jalisco, México
alvaro.munoz@lasfalto.com.mx, teléfono: +52 33 3684 7304 ext 134

Resumen

La durabilidad y flexibilidad de una mezcla asfáltica en caliente se ve afectada en gran medida por la calidad del polvo mineral que pasa la malla n° 200 (filler) y que participa de entre un 3 % y 12 % con respecto al peso de la mezcla, uno de los parámetros que afecta tales factores es la calidad del material. Por ello, en este artículo, se tiene como objetivo proponer una metodología alternativa a la existente en México para medir la capacidad de sorción de un filler mediante la técnica de espectrofotometría visible. Además, se hace un análisis a polvos minerales de diferente calidad y características en las que se demuestra una mejor repetibilidad y mejor precisión con respecto al método tradicional. Por lo que es factible implementar la metodología aquí propuesta en la normativa y practica mexicana.

Abstract

The durability and flexibility of a hot mix is largely affected by the quality of the mineral powder that pass the 200 mesh (filler), and take part from 3 to 12% based on the weight of the mixture. One of the parameters affecting such factors is the quality of the material. Therefore, this article aims to propose an alternative methodology in Mexico for measuring sorption capacity of a filler by visible spectrophotometry. In addition, an analysis is made in mineral powders of different quality and features in a better repeatability and demonstrated better accuracy compared with the traditional method. So, it is feasible to implement the proposed methodology proposed here in the Mexican legislation and practice

1. Introducción.

Actualmente en México el uso de materiales que cumplan con los parámetros y especificaciones requeridas en la fabricación de mezclas asfálticas ha ido tomando mayor importancia. El uso de equipos y técnicas que evalúen de una manera más eficiente y precisa los materiales de construcción de carreteras ha sido el objetivo de los profesionales, organismos gubernamentales y de las empresas constructoras dedicadas a este rubro. En cuanto al uso específico y calidad de los agregados pétreos como principales componentes existe actualmente la norma de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), además de las recomendaciones del protocolo AMAAC (Asociación Mexicana del Asfalto A. C.), sin embargo, el material que pasa la malla No. 200 conocido como polvo mineral (filler), presenta métodos de prueba inconsistentes y susceptibles a confusiones y errores que podrían ser trascendentales en el que un material apruebe o no el parámetro de azul de metileno requerido por la SCT y la AMAAC o más grave aún, que su desempeño en campo no sea el adecuado. El polvo mineral aporta a la mezcla asfáltica propiedades como: viscosidad, impermeabilidad, flexibilidad y resistencia (propiedades adquiridas en conjunto con el asfalto, mástico). Dentro de la metodología de diseño de mezclas asfálticas en México, el material que pasa la malla número 200 (75 μm) puede llegar a ocupar desde un 2 % hasta un 12 % en peso de la mezcla, es por eso que el contar con filler de buena calidad que aporte características benéficas en el desempeño es trascendental. Gracias a estudios se ha determinado que altos valores de azul de metileno para un tipo de agregado a usarse en una mezcla asfáltica resultan en una mezcla con alta susceptibilidad al efecto del agua, además mezclas con altas deformaciones y bajas energías de fractura.

Actualmente, uno de los métodos más utilizados en la industria para caracterizar el polvo mineral es la prueba de azul de metileno (AM) la cual se utiliza para estimar el grado de reactividad en presencia de agua del filler, esta prueba se basa en cuantificar la capacidad de sorción del filler midiendo la cantidad de azul de metileno necesario para cubrir su superficie total (interna y externa). Químicamente, el azul de metileno, identificado con la fórmula empírica $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$, es un polvo que al mezclarse con agua se comporta como un colorante catiónico, por lo tanto, esta técnica de azul de metileno está basada en dos principios fundamentales:

- El fenómeno de intercambio iónico entre los cationes intercambiables de los fillers y los cationes del AM dispersos en el medio acuoso.
- La adsorción y absorción física de las moléculas de AM en la superficie externa e interna del filler.

La capacidad de sorción está definida por la naturaleza de la matriz rocosa del agregado del cual proviene el filler, aunque dicha capacidad aumenta en función de la superficie específica y de la carga eléctrica superficial del material. Entonces, la prueba de azul de metileno se relaciona con la capacidad del filler de sorber agua y aumentar su volumen.

Basados en este principio se han desarrollado distintas técnicas de prueba usando AM, siendo la más utilizada por su simplicidad, la prueba con papel filtro. En México, esta técnica está establecida por la Recomendación AMAAC RA-05/2008, basada en la norma M-MMP-4-04-014/09 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Dicha técnica consiste en disolver AM en agua destilada con concentración conocida y colocar dicha solución en una bureta de 50mL; así mismo se pesa una masa conocida de filler, se agita y se suspende en agua en un vaso de precipitados. Se adiciona la solución de AM gota por gota, posteriormente, después de cada gota se remueve una gota de la suspensión y se coloca en el papel filtro. La prueba continúa hasta la formación de un halo color azul claro alrededor de la gota, reportando como miligramos de AM por cada gramo de filler. Este método indica una evaluación semicuantitativa de la reactividad de los fillers; así como indicaciones cualitativas del tipo de mineral contenido en dichos fillers. Sin embargo, esta metodología muestra resultados subjetivos, poco precisos y con una alta incertidumbre, ya que la determinación del punto final depende del criterio del analista, por lo que podría resultar difícil llegar a un acuerdo en valores cercanos a los límites especificados y por lo tanto podría resultar trascendental en el que un polvo mineral apruebe o no.

Debido a la alta subjetividad que presenta la prueba de azul de metileno, en este trabajo se propone una metodología alternativa para determinar la capacidad de sorción de AM para fillers mediante espectrofotometría visible, mediante el cual se pretende demostrar la objetividad, repetitividad y reproducibilidad de dicho método y de esta forma colaborar para el control de calidad y construcción de los pavimentos flexibles.

2. Objetivos.

Proponer una metodología alternativa para determinar la capacidad de sorción de AM para fillers mediante espectrofotometría visible y demostrar su repetitividad, reproducibilidad y precisión.

en una solución de AM a una concentración inicial de 100 mg/l. Es así, que mediante esta información se establecieron las condiciones de prueba y se tuvo un proceso del método desarrollado de la siguiente manera: se prepara 1 litro de solución de AM a una concentración de 100 mg/l el cual se almacena dentro de un envase de polipropileno, se toman 100 ml de solución y se vierten en un vaso de precipitados, después se procede a la agitación de la solución a una velocidad de entre 400 rpm y 500 rpm. Inmediatamente se añaden 0.1 g de filler y se empieza a contabilizar el tiempo de sorción. Se toman 300 µl de muestra de la suspensión cada 15 minutos en un tubo y se adicionan 10 ml de agua destilada. Se centrifuga durante 4 minutos a 4000 rpm para separar el filler. Se lee la muestra en un espectrofotómetro UV/visible a una longitud de onda de 664 nm. Todas las muestras tomadas se realizaron por triplicado. La mayor absorbancia del azul de metileno en forma monomérica se alcanza a una longitud de onda de 664 nm. [1]

En lo que respecta a la repetibilidad y reproducibilidad, una vez que se establecieron las condiciones y procedimiento de la prueba se procedió a validar el método. Para este objetivo se realizó la prueba de azul de metileno con el método propuesto en este trabajo con el que se analizaron los 4 polvos minerales disponibles en las que además se tuvo la participación de dos técnicos laboratoristas con el objeto de tener un análisis y comparación de resultados más completo.

Se realizó un análisis de los resultados de cada analista y se determinó la desviación estándar de dichas mediciones. Así mismo, se compararon los resultados entre ambos analistas.

4. Resultados

Para el estudio de los resultados obtenidos para cada tipo de filler se comparó la prueba de azul de metileno con el uso de papel filtro (método convencional), contra la de espectrofotometría visible (método propuesto), con el objeto de detectar posibles diferencias entre ambos métodos, además de comprobar la repetibilidad y reproducibilidad del método por espectrofotometría.

En la figura 4 se observa que la sorción del azul de metileno para filler de naturaleza arcillosa alcanza el equilibrio a los 60 minutos, mientras que para materiales que pasan la malla n° 200 no arcillosos se alcanza su equilibrio en apenas 30 minutos, tiempo en el que inmediatamente después se puede llevar a cabo la lectura de espectrofotometría. Sin embargo, podremos definir como un tiempo máximo de saturación de filler de 60 minutos, tiempo para el cual las arcillas ya han sido saturadas (caso más extremo), además de que el uso de arcillas en la industria del asfalto y la pavimentación es

limitado.

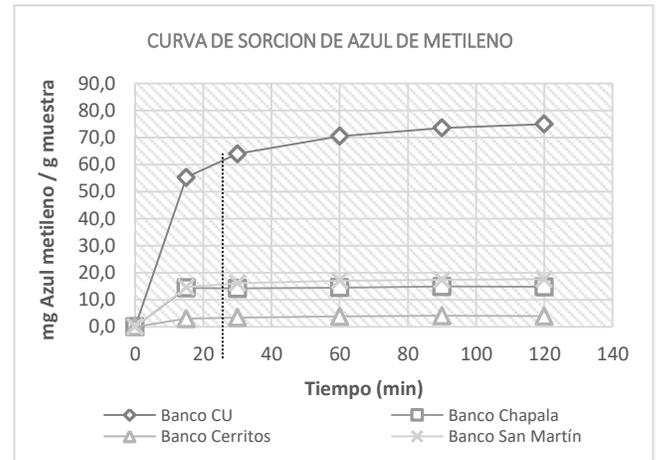


Figura 4.- Absorción de AM con respecto al tiempo: A) Banco CU, B) Banco San Martín, C) Banco Chapala y D) Banco Cerritos.

Por otra parte, En la tabla 2 se presenta un análisis entre dos laboratoristas en el ensayo clásico de azul de metileno en el que se observa que en 2 de los 4 bancos analizados se presentan diferencias entre la determinación del valor resultante del ensayo. Además, para este caso, el tener resultados por duplicado puede no ser significativo debido a la subjetividad de la prueba por lo que solo se realizó una prueba por cada azul de metileno y analista.

Tabla 2.- Comparación de resultados entre 2 analistas para la prueba de azul de metileno mediante el método clásico.

Filler	mg AM / filler Método clásico Analista A	mg AM / filler Método clásico Analista B	DER entre analistas
Banco CU	72	74	1.41
Banco Chapala	17	17	0.00
Banco San Martín	20	20	0.00
Banco Cerritos	4	2	1.41

Para el caso de la repetibilidad y reproducibilidad en el ensayo de espectrofotometría se presentaron excelentes resultados en el que se demuestra la validez del ensayo, además se muestra la poca variación entre los resultados obtenidos por laboratoristas diferentes.

Tabla 3.- Comparación de resultados entre 2 analistas para la prueba de azul de metileno mediante espectrofotometría UV/ visible.

Filler	mg AM / filler Analista A	DER Analista A	mg AM / filler Analista B	DER Analista B	DER entre analistas
Banco CU	70.42	0.34	70.67	1.22	0.76
Banco Chapala	15.07	2.12	15.10	1.27	1.43
Banco San Martín	17.88	1.65	17.67	0.99	1.30
Banco Cerritos	3.79	2.30	3.73	1.99	2.03

Así mismo, como se muestra en la tabla 4, se observa una desviación relativa estándar menor al 3% tanto en las mediciones de cada analista como entre ambos analistas, demostrando que el método es repetible y reproducible.

Tabla 4.- Comparación de resultados de la prueba de azul de metileno para diversos fillers obtenidos mediante el método innovador y el clásico.

Filler	mg AM / filler Método innovador	mg AM / filler Método clásico	Diferencia (%)
Banco CU	70.55	72	2.06
Banco Chapala	15.09	17	12.69
Banco San Martín	17.78	20	12.52
Banco Cerritos	3.76	4	6.38

En el primer filler, como se observa en la tabla 3, los resultados de ambos métodos presentan valores de azul de metileno similares. Para las demás muestras que presentan diferencia entre el método innovador, por espectrofotometría, y el método de azul de metileno tradicional de hasta un 12 % demostrando así que el método de espectrofotometría presenta menor variación y mayor exactitud que el método desarrollado con papel filtro. Una de las principales razones por las que el método innovador es mucho más exacto es porque se utiliza una solución de azul de metileno muy diluida lo cual garantiza una superficie específica extensa, la presencia de monómeros y dímeros del colorante que son sorbidos por el mismo filler el cual presenta una superficie específica extensa y poros relativamente pequeños hasta lograr su saturación externa y superficial. Por otra parte, para el método clásico se utiliza una solución con alta concentración de azul de metileno la cual promueve la aglomeración o formación de complejos entre las moléculas del colorante que son sorbidos por el filler lo que puede favorecer la formación de capas alrededor de este, incluso cuando se supera su capacidad de sorción. El método analítico innovador nos permite calcular la concentración de azul de metileno

remanente en la solución después de haber transcurrido un determinado tiempo comparándose con la concentración inicial previa a la incorporación del filler, la cual se calcula por diferencia de concentraciones en miligramos de azul de metileno adsorbido por cada gramo de filler y se obtiene su capacidad de sorción. Para el método del papel filtro es necesario encontrar la formación de un halo de color azul y que este sea estable conforme transcurre el tiempo de prueba al aplicar una gota de la solución de AM en el papel filtro por lo que además su interpretación es subjetiva y depende del criterio particular del analista.

5. Conclusiones

La infraestructura carretera es el motor del desarrollo socio-económico de las naciones, por lo tanto, es fundamental contar con pavimentos que permitan una circulación segura, rápida, cómoda y que generen costos de operación bajos.

Necesitamos métodos más sencillos y confiables que garanticen una adecuada selección de los materiales empleados en la construcción.

Es por eso que se desarrolló un nuevo método analítico con el objetivo de determinar la sorción de azul de metileno para el polvo que pasa la malla n° 200 utilizado en las mezclas asfálticas y que se basa principalmente en la espectrofotometría visible, proceso en el que se establecieron como condiciones de prueba:

- 100 ml de solución de azul de metileno
- 0.1 g de filler
- 1 hora de agitación y 4 minutos centrifugación de muestras y,
- 664 nm lectura de longitud de onda

Este método demostró ser eficaz para determinar la reactividad de los fillers utilizados en mezclas asfálticas en presencia de agua, es por eso que se presenta como un método alternativo que ayuda a la correcta caracterización del polvo mineral y a la restricción en el uso de materiales de mala calidad. Además, resulta ser un procedimiento sencillo por lo que se presenta como una alternativa al método tradicional del papel filtro y así garantizar la medición de características de una manera más precisa. De esta forma se garantiza el uso de polvos minerales de buena calidad y de la detección de materiales inapropiados para la construcción de carreteras por lo que además se concluye que es un procedimiento y metodología validada para tales fines.

6. Bibliografía.

- [1] Bergmann, K., & O'Konski, C. T. (1963). A spectroscopic study of methylene blue monomer, dimer, and complexes with montmorillonite. *J. Phys. Chem.*, 67(10), 2169–2177.
- [2] Chiappone, A., Marelo, S., Scavia, C., & Setti, M. (2004). Clay mineral characterization through the methylene blue test: comparison with other experimental techniques and applications of the method. *Canadian Geotechnical Journal.*, 41(6), 1168-1178.
- [3] Gürses, A., Doğarc, Ç., Yalçına, M., Açıkyıldıza, M., Bayraka, R., & Karacab, S. (2006). The adsorption kinetics of the cationic dye, methylene blue, onto clay. *Journal of Hazardous Materials*, 131(1-3), 217-228.
- [4] Sandoval, N., Alvarez, L., & Alarcon, I. (2011). Estudio del efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas del

"mástico". VII séptimo Congreso Mexicano del asfalto.

- [5] Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2009). M-MMP-4-04-014/09. Azul de metileno de materiales pétreos para mezclas asfálticas.
- [6] Solaimanian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M., & Tandon, V. (2003). Test methods to predict moisture sensitivity of hot-mix asphalt pavements. *Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements* (págs. 77-110.). San Diego California: Transportation Research Board.
- [7] Turkoz, M., & Tosun, H. (2011). The use of methylene blue test for predicting swell parameters of natural clay soils. *Scientific Research and Essays*, 6, 1780-1792.
- [8] Ultraviolet-visible spectroscopy. (02 de Abril de 2016). Obtenido de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet%E2%80%93visible_spectroscopy



Influencia de la adición de aditivo en el proceso de cocción sobre piezas cerámicas de gran formato. Influence of waste addition on large geometry clay bricks during firing process.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
11-04-2016
Aceptado
21-06-2016
Publicado
20-11-2016

Palabras Clave:
Arcilla aligerada
Horno de Cocción
Gradientes
térmicos
Fisuras
Aditivo

Article history:

Received
11-04-2016
Accepted
21-06-2016
Available
20-11-2016

Keywords:
Lightweight
Tunnel kiln
Thermal behavior
Cracks
Wastes addition

M.P. Morales^{1,2}, P. Muñoz¹, M.A. Mendivil³, M.C. Juárez³, L. Bibire⁴

¹Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chile. Talca, Maule, Chile

²Research Group MOMAIN, Universidad Internacional de La Rioja, Logroño, La Rioja, España

³Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad de La Rioja, Logroño, La Rioja, España

⁴University of Bacau, Str. Principala, Bacău, Romany
pmunozv@uautonoma.cl, teléfono: +56 9 56935953

Resumen

El presente artículo muestra la influencia de la adición de aditivo en el proceso de cocción de piezas cerámicas de gran formato utilizados como tabiques interiores.

La adición de aditivo ha demostrado ser un método viable para la disminución de la conductividad térmica en bloques cerámicos, aumentando la porosidad en el seno de la arcilla cocida, por la auto-combustión del aditivo en el proceso de cocción. Sin embargo, esta combustión origina importantes incrementos de temperatura locales que conducen a diferencias de temperatura de más de 150 °C dentro de la misma pieza y que son capaces de producir fisuras importantes en la misma.

El documento estudia el proceso de cocción, en las masas arcillosas fabricadas con aditivo en ladrillos de gran formato proponiendo soluciones tecnológicas para minimizar los defectos de fabricación.

Abstract

This paper shows the influence on adding a type of additive in the firing process of large geometry clay bricks used as interior walls.

Although the additive addition decreases the thermal conductivity in clay bricks as porosity increases by the self-combustion of the additive in the firing process, it has been observed that this combustion causes local temperature increases over 150°C within the brick, which produces cracks and failures. This paper studies the firing process in clay masses made with additives in large geometry bricks and proposes technological solutions to minimize manufacturing defects produced by the temperature rise.

1. Introducción.

En los últimos tiempos, los fabricantes de ladrillos han venido añadiendo a la masa arcillosa en bruto, diferentes aditivos orgánicos [1-4]. Estos aditivos auto-combustionan en el proceso de cocción debido a las temperaturas a las que se someten los bloques cerámicos secos. La combustión espontánea de estos aditivos en el seno de la masa cerámica, crean poros de gas que disminuyen la conductividad térmica de la arcilla, su densidad y su resistencia mecánica, entre otros parámetros [5,6].

Como efecto transversal, del uso de estos aditivos, cabe mencionar también el impacto en términos de ahorro energético que supone su utilización. Esto, dado que la energía disipada se incorpora al balance energético en el interior del sistema de cocción, dando lugar a una disminución de la energía demandada por el horno para el mantenimiento de la temperatura. Atendiendo al tipo de aditivo empleado, se puede suponer un ahorro aproximado de combustible de hasta el 26 % [7].

Sin embargo, como resultado de la combustión de estos aditivos, el bloque cerámico experimenta incrementos locales de temperatura que provocan diferencias de temperatura importantes dentro de la misma pieza. Estas diferencias de temperatura, que dependen de la geometría del bloque, el sistema de túnel de cocción o de la cantidad de aditivo, pueden provocar la fisura o la deformación incontrolada del ladrillo.

Debido al impacto, en términos de resistencia mecánica [8,9], muchos ladrillos fabricados con aligerantes limitan su uso a la ejecución de tabiques interiores divisorios, sin función estructural, pero con mejores propiedades térmicas y aislantes [10-12]. Estas piezas se caracterizan por su forma de laja con dimensiones de 700 x 720 mm y con espesores de 50 mm hasta 70 mm (Ver figura 1). Sin embargo, debido a esta geometría empresas del sector cerámico se han encontrado con dificultades en la puesta en marcha del proceso productivo por la aparición de fisuras y deformaciones de gran parte de los lotes.



Figura 1.- Geometría del ladrillo de gran formato objeto del estudio.

A pesar de que algunos investigadores [13,14] han estudiado los efectos tecnológicos de la fabricación de este tipo de ladrillos aditivados, hasta nuestro conocimiento, no existen experiencias relacionadas con el proceso de cocción. Esta investigación, por tanto, se centra en el análisis del proceso de cocción, atendiendo a la distribución de temperaturas en el interior del túnel de cocción con el fin de limitar las diferencias de temperatura dentro de la misma pieza y por tanto disminuir la cantidad de defectos en estos lotes.

2. Materiales y métodos

El estudio se ha llevado a cabo, mediante la utilización de un conjunto de sondas térmicas de tipo K 1.5 mm y el equipo de adquisición de datos Tpaq21 [5]. Se distribuyeron un total de seis sondas de medición repartidas en tres conjuntos de bloques. Cada bloque cuenta con una sonda en la cara de avance de la vagoneta y otra en la cara posterior del mismo con objeto de medir las diferencias de temperatura provocadas entre ambas caras.

Se seleccionaron tres posiciones de la vagoneta, distribuidas de la siguiente manera: una sonda en el apilamiento más exterior de la vagoneta (posición C) y otra en la pila contigua (posición B), ya que estas zonas tienen, por las características del túnel, un intercambio por convección mayor que en el centro debido a la disposición de los soplantes que generan una mayor turbulencia en estas zonas, y la última sonda se sitúa precisamente en el punto central de la sección transversal del carro (posición A). La disposición de las sondas, es la que muestra la figura 2.

POSICIÓN A POSICIÓN B POSICIÓN C
SONDA 1-2 SONDA 3-4 SONDA 5-6

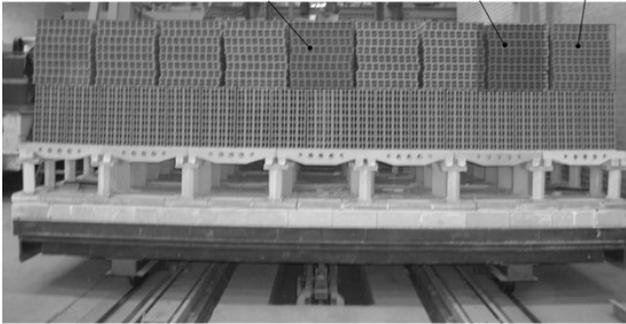


Figura 2.- Localización de las sondas. Los números impares significan que se encuentran en la parte posterior del ladrillo. Los números pares identifican las sondas que se sitúan en la cara del ladrillo de avance hacia el túnel.

Una vez localizadas las zonas de ubicación de las sondas, se procede a consignar un gradiente de temperaturas en el túnel del horno (figura 3) y después de cada cocción se identifican las piezas, determinando cuáles presentan defectos y asociando éstos con los gradientes térmicos reales medidos.

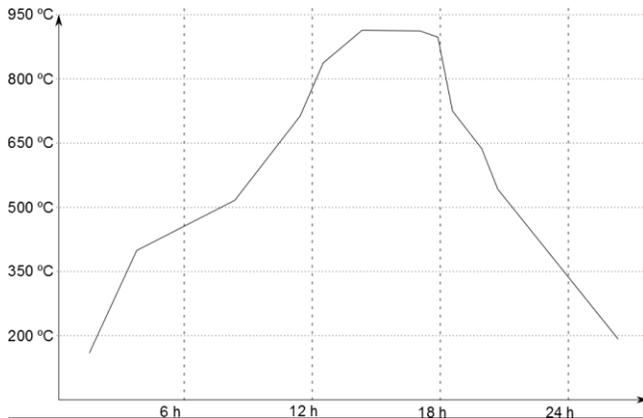


Figura 3.- Curva de cocción empleada en el ensayo.

3. Resultados de la investigación

Como se ha comentado, el resultado inmediato, surge del análisis visual de los ladrillos cocidos. Así, se observa que las piezas se han fisurado en mitad del ancho a lo largo de la pieza hasta $\frac{3}{4}$ partes de su longitud total y en particular en la cara de avance en el horno (figura 4).

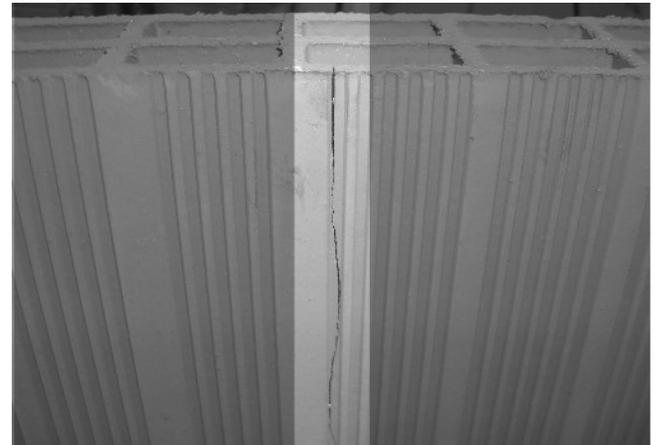


Figura 4.- Detalle de fisuras presentes en las posiciones A y B.

Si nos fijamos en la distribución de temperaturas a lo largo del túnel de cocción encontramos que la zona que presenta más dispersión en las temperaturas es la zona de precalentamiento, (figura 5), que se producen en las vagonetas en el túnel de cocción durante aproximadamente las tres primeras horas de cocción. Podemos observar dos zonas, claramente diferenciadas. En la zona de precalentamiento a unos 40 minutos de avance en la zona central A de la vagoneta se produce un gradiente térmico de unos 150 °C siendo el mayor durante toda la cocción en todas las zonas. A los 120 minutos se produce el mayor gradiente térmico en la zona B con un salto de 140 °C. Curiosamente en la zona C, la más exterior en la vagoneta, el gradiente térmico no supera en ningún caso los 120 °C, ocurriendo este a los 120 minutos. Si ahora observamos la tabla 1 se muestran los porcentajes de piezas defectuosas, con fisuras encontradas en cada zona estudiada.

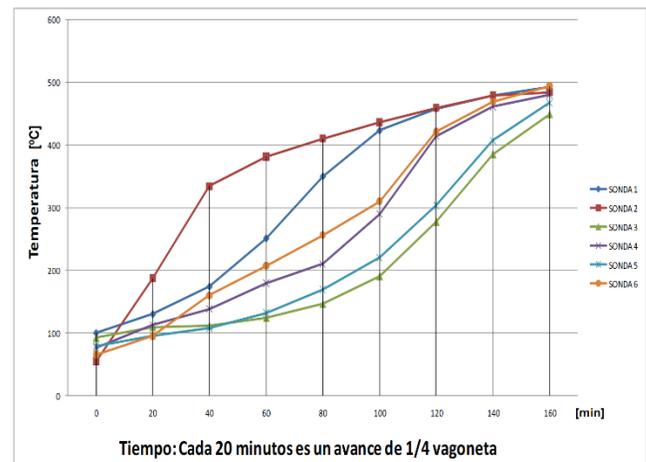


Figura 5.- Distribución de temperaturas de las sondas a lo largo del túnel de cocción.

Tabla 1.- Análisis estadístico de piezas defectuosas por fisuración.

POSICIÓN	Porcentaje promedio de piezas fisuradas (desviación estándar)
A	98 % (5.5 %)
B	78 % (3.5 %)
C	5 % (8.5 %)

Con los resultados observados en la figura 5, parece claro que la zona A es la más afectada por el gradiente de temperaturas, con un porcentaje de fisuras muy elevado. Esto nos lleva a escoger esta zona para enfocar las propuestas de soluciones, ya que coincide con el rango de temperaturas en las que se produce la auto-ignición del aditivo. Si analizamos esta zona en detalle, nos encontramos con la distribución que se muestra en la figura 3 a los 40 minutos de entrada en el túnel que al pasar por esta zona la temperatura en el horno es de 200 °C y las piezas de la zona A alcanzan una temperatura de unos 340 °C, causado por esa auto-ignición del aditivo, lo que origina un 43 % de incremento en la temperatura. Un gran inconveniente que se detecta es que ese aumento de temperatura se mantiene alrededor de unos 40 minutos en el túnel y dada la dificultad que le supone a dicho apilamiento liberar dicho calor, produce ese resultado tan catastrófico en dichas piezas, con roturas de casi el 100 % de las piezas en esta zona.

Parece claro que con gradientes menores a 120 °C, la arcilla libera correctamente el calor generado por la auto-ignición del aditivo. Pero con gradientes por encima de este valor, y dada la dificultad de evacuación del calor, genera en los apilamientos interiores fisuras en las piezas, siendo estas no menores de un 75 %

4. Conclusiones y posibles medidas correctoras

El empleo de aditivos aligerantes en la fabricación de ladrillos, genera en el proceso de cocción poros de gases, provenientes de su auto-combustión. Estos aditivos crean, así, barreras de transmisión de calor por el incremento de las fases convectivas.

Dado los buenos resultados térmicos obtenidos en el sector cerámico con la adición de aditivo en la masa arcillosa, donde se ha llegado a alcanzar disminuciones de un 14 % en su densidad aparente y una disminución de conductividad de la arcilla de hasta un 40 %, según [1], los fabricantes han iniciado la puesta en marcha de la utilización de estas arcillas en bloques cerámicos cuyo uso no es exclusivo para cerramientos de fachada. Esto, ha originado dificultades tecnológicas en la

cocción de estos nuevos bloques, produciéndose porcentajes de defectos, en lotes, de hasta el 60 %.

Tras evaluar los gradientes térmicos en el túnel de cocción se ha observado la dificultad de liberación del calor en las zonas centrales de las vagonetas, produciéndose, entre las zonas delantera y trasera de las piezas de una vagoneta, diferencias de temperaturas de más de 150 °C. Esto, en la zona de precalentamiento del horno a la temperatura de unos 200 °C, donde en las zonas de dificultad de liberación del calor se llega a alcanzar una temperatura de 350 °C debido a la auto-ignición de la aditivo, siendo este incremento de un 43 %.

5. Líneas futuras de investigación

Resulta interesante estudiar cómo afecta la cocción de estas piezas fabricadas con residuos orgánicos mediante el rediseño de las simulaciones de los procesos de cocción en este tipo de hornos. Estudiar la mejor recirculación de aire en la zona del horno donde se alcanzan los 200 °C, aproximadamente a los 40 minutos de la entrada de la vagoneta, hasta la temperatura de unos 250 °C en el horno, aproximadamente a los 120 minutos de entrada, con el fin de producir un movimiento de aire y que por convección no permita a los bloques alcanzar gradientes térmicos por encima de 120 °C.

6. Referencias

- [1] Velasco, P.M., Ortíz MP.M., Giró, MA. M., Velasco, L.M. (2014) Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *Construction and Building Materials* 63 pp. 97–107.
- [2] Raut, S.P., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S.A. (2011) Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials* 25 pp. 4037–4042.
- [3] Bories, C., Borredon, ME., Vedrenne, E., Vilarem, G. (2014) Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. *Journal of Environmental Management* 143 pp. 186-196.
- [4] Zhang, L. (2013) Production of bricks from waste materials – A review. *Construction and Building Materials* 47 pp. 643–655
- [5] Sutcu, M., Akkurt, S. (2009) The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*, 35 pp. 2625-2631
- [6] Sutcu, M., Akkurt, S. (2010) Utilization of recycled paper process and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics using residue. *Journal of European Ceramic Society*, 30 pp. 1785-1793.



- [7] Muñoz, P., Juárez, M.C., Morales, M.P., Mendivil, M.A. (2013) Improving the thermal transmittance of single-brick walls built of clay bricks lightened with paper pulp. *Energy and Buildings*, 59 pp. 171-180.
- [8] Demir, I., Serhat Baspinar, M., Orhan, M. (2005) Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and environment*, 40 pp. 1533-1537.
- [9] Mohajerani, A.A.U., Eshtiaghi, S.S.N. (2015) Possible use of biosolids in fired clay bricks. *Construction and Building Materials*, 91 pp. 86-93.
- [10] Sarani, N.A., Kadir, A.A. (2014) Experimental and theoretical analysis on thermal conductivity of fired clay bricks incorporated with cigarette butts. *Applied Mechanics and Materials*, 465-466 pp. 872-876.
- [11] Aouba, L., Countand, M., Perrin, B., Lemerrier, H. (2015) Predicting thermal performance of fired clay bricks lightened

- by adding organic matter: Improvement of brick geometry. *Building Physics*, 38(6) pp. 531-547.
- [12] Velasco, P.M., Ortíz, M.P.M., Giró, M.A.M., Melia, M.D., Rehdein, J.H. (2015) Development of sustainable fired clay bricks by adding kindling from vine shoot: Study of thermal and mechanical properties. *Applied Clay Science*, 107 pp. 156-164.
- [13] Demir, I. (2008) Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. *Waste Management*, 28 pp. 622-627.
- [14] Mihoubi, D., Zagrouba, F., Ben Amor, M., Bellagi, A. (200) Drying of clay. I Material characteristics. *Drying technology: An international Journal*, 20(2) pp. 465-487.
- [15] Web del fabricante del equipo de adquisición de datos de temperatura. (Enero 2013) <http://www.datapaq.com>



El Proceso Analítico Jerárquico para la valoración de la sostenibilidad de las infraestructuras.

Using the Analytic Hierarchy Process for valuation of the sustainability of infrastructure.

Leonardo Sierra¹

¹Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España. leosieva@doctor.upv.es, teléfono: +56-45-592812.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido
11-09-2016
Aceptado
16-12-2016
Publicado
16-12-2016

Palabras Clave:
Familias
Vulnerables
Política
Habitacional
Empresas
Constructoras

Article history:

Received
11-09-2016
Accepted
16-12-2016
Available
16-12-2016

Keywords:
Vulnerable families
Housing Policy
Construction Companies

Resumen

En la actualidad los programas de formación de postgrado son eficientes en las áreas específicas de su disciplina, no obstante una gran parte de ellos carece de la complementariedad de la sostenibilidad analizada de una manera integral (social, ambiental y económica). Esta investigación propone una metodología para identificar la valoración de la sostenibilidad de infraestructuras para la toma de decisiones por parte de profesionales del área de la construcción. El estudio fue aplicado, sobre un grupo de profesionales del área de construcción en España. El modelo se focaliza sobre un compendio de 12 criterios de sostenibilidad e integradas bajo un proceso analítico jerárquico para determinar el grado de apreciación por parte de los profesionales de cada atributo consultado. Lo anterior, se complementa con un análisis de conglomerados para identificar los perfiles que influirán sobre la toma de decisiones. En esta ocasión el método permite identificar cuatro perfiles de pensamiento frente a la sostenibilidad de las infraestructuras, cuyas diferencias, implican variaciones consecuentes con la toma de decisiones respecto a los tipos de proyectos seleccionados. Este estudio, puede servir como un modelo de aprendizaje y capacitación para ser usado por consultores de tal manera de trabajar con las valoraciones de personas, respectos a diferentes criterios y sus repercusiones en la toma de decisiones.

Abstract

Currently vocational training programs are effective in specific areas of their discipline, however much of them lacks the complementarity of sustainability analyzed in an integrated manner (social, environmental and economic). This research proposes a methodology to identify the assessment of the sustainability of infrastructure for decision-making by professionals in the field of construction. The study was applied on a group of professionals in the construction area in Spain. The model focuses on a compendium of 12 criteria of sustainability and integrated under a hierarchical analytical process to determine the degree of appreciation by professionals consulted each attribute. This is complemented by cluster analysis to identify profiles that will influence decision making. This time the method allow to identify four profiles of thought facing the sustainability of infrastructure, whose differences involve variations consistent with decisions regarding the types of projects selected. This study can serve as a model of learning and training for use by consultants such valuations working with people, respects different criteria and its impact on decision making.

1. Introducción.

A pesar de los esfuerzos de los programas de formación profesional, el desarrollo sostenible es todavía una idea innovadora en la mayor cantidad de las instituciones de educación y no ha permeado eficientemente en todas las disciplinas, escuelas y currículos de formación [23] [24].

En la última década en que ha habido un creciente interés en el concepto de la integración del desarrollo sostenible en los planes de estudios en todos los niveles, así como los métodos para lograr esto en la práctica [5] [39], particularmente en términos de los individuos que obtienen una comprensión de cómo sus decisiones y acciones afectan el medio ambiente y la sociedad. [23] [22]

En este contexto, las iniciativas emprendidas y catalogadas en estudios realizados, evidencian en general cuatro enfoques principales que se pueden encontrar para la incorporación del desarrollo sostenible en los planes de estudio de educación superior [25]:

- Algunos cubren determinados temas y/o materiales ambientales y / o sociales en un curso existente [34];
- Un curso específico de desarrollo sostenible se añade al currículo [1] [34] [38];
- Desarrollo sostenible entrelazado como un concepto dentro de los cursos orientados a disciplinas ya existentes, con los problemas del desarrollo sostenible pertinentes adaptados a la naturaleza de cada curso específico [1] [5] [28] [29];
- El desarrollo sostenible se ofrece como una especialización en el marco de las facultades o escuelas particulares dentro de una institución. [17]

Estudios indican que mientras algunas escuelas podrían ser catalogadas como innovadoras al respecto, ellas no necesariamente caen en esta categoría cuando se considera la contribución general al desarrollo sostenible (es decir las interconexiones y sinergias entre los tópicos ambiental, económico, social y aspectos transversales) [23].

Por su parte, mientras que los expertos hacen hincapié en el papel sociológico de la sostenibilidad en términos de cómo las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad afectan a los seres humanos, la mayoría de profesionales después de tomar un curso asociado al Desarrollo Sostenible, se centran en los aspectos tecnológicos de la sostenibilidad, en cuanto a cómo

la tecnología ofrece una solución a los problemas ambientales. Este desajuste revela que los cursos de desarrollo sostenible requieren más énfasis en los aspectos sociales / institucionales de la sostenibilidad. [31]

En este sentido, hay resultados que revelan que la sostenibilidad no ha sido una prioridad para todos los participantes de las instituciones y en algunos casos aun no es considerada en el contexto de la educación superior y en aquellas en que se considera, la conceptualización del desarrollo sostenible se centran principalmente en la sostenibilidad del medio ambiente, en concreto la energía, gestión de recursos y la reducción de residuos. Estos pensamientos se hacen eco de las ideas de quienes están involucrados con la institución quienes consideran popularmente una universidad sostenible como aquella que mantiene una sostenibilidad del medio ambiente [40]

En consideración a lo anterior, es trascendente tener en cuenta una estructura conceptual clara, resultado de una revisión sistemática de reglamentaciones internacionales y enfoques de diversos autores, asociados a las sostenibilidad, con objeto de garantizar la integralidad de los aspectos social, económico y ambiental [19] [20] que pudiese ser usada como punto de partida de iniciativas formativas integrales en materias de sostenibilidad.

La necesidad del conocimiento detectada en este artículo, enfatiza en la aportación de metodologías que contribuyan a una sostenibilidad integral [23], que a su vez integren y se preocupen del aspecto social tanto como los aspectos ambientales y económicos. [31] [40]

En este contexto, esta investigación ha tomado como puntos de partidas el lineamiento de los (1) trabajos aportados por Lozano [23] respecto al estudio de métodos que orientan la concientización del individuo frente a su toma de decisiones y la repercusión de sus efectos y (2) estudios que establecen la estructura conceptual integral de la sostenibilidad aportados por Labuschagne y Brent [20], que jerarquiza a los atributos que se debiesen considerar en forma general en las iniciativas operacionales de negocios/proyectos que contribuyen al desarrollo sostenible.

En base a los antecedentes expuestos, el propósito de este trabajo apunta a proponer una metodología, que permita identificar el nivel de valoración sobre los atributos de la sostenibilidad total, y en base a ello concientizar respecto a la toma de decisiones en el desarrollo de infraestructuras de los profesionales encargados de su formulación y desarrollo.

2. La sostenibilidad en el desarrollo de infraestructuras.

El desarrollo sustentable considera la interdependencia y balance entre los pilares económicos, ecológicos y sociales. [8] [10] [35]

Durante la evolución de los últimos 30 años del siglo XX la discusión sobre el desarrollo sustentable colocó el acento en la necesidad de legar una mejor naturaleza para las generaciones futuras, mientras que a finales de siglo, la comunidad internacional comenzó a incluir y comprender que el objetivo debe ser aumentar las capacidades humanas [13] [2]. De esta forma, ya desde fines de la década de los 90, se habían formulado principios sociales que debería abordar una construcción sostenible, muchos de ellos con el propósito de superar condiciones pobreza, pero que en nuestros tiempos se reconocen como vulnerabilidad social. [16]

Por su parte en la última década Labuschagne [20], propone una estructura conceptual de la sostenibilidad para iniciativas operacionales de la industria, la cual es contrastada con normativas y reglamentaciones internacionales como así también diversos autores relevantes en el desarrollo de la temática, resultando ser un modelo integrador y totalizador del concepto de sostenibilidad. El modelo propuesto ha sido considerado por diferentes autores en estudios del área de proyectos operacionales. [9] [7] [18] [12]

En el proceso de revisión bibliográfica se detecta que gran parte de los aspectos formulados por distintos autores desde la década de los 90 han sido contemplados en estudios más integrales desarrollados por Labuschagne [6] [19] [21], en el contexto de la evaluación de iniciativas operacionales con contribución a la sostenibilidad, proponiendo una estructura conceptual de que se ocupa de los impactos de la empresa sobre los sistemas sociales y ambientales en los que opera. La propuesta considera la revisión de estructuras de sostenibilidad integradas del Global Reporting Initiative, la estructura de desarrollo sostenible de las comisión de las Naciones Unidas y los Wuppertal Sustainability Indicator y el contraste de los criterios con más de 31 reglamentaciones internaciones y fuentes de literatura con el fin de lograr una estructura conceptual integral que permita establecer criterios de evaluación de la sostenibilidad (Figura 1) [21].

En este estudio se ha utilizado como base inicial esta estructura, en función de su nivel pertinencia al desarrollo de una infraestructura civil de uso público e integralidad y exhaustivo nivel de revisión, contrastada con reglamentaciones y trabajos de autores que han estudiado esta temática en los últimos 20 años.

En el método se introducen conceptos preliminares asociados a la sostenibilidad respecto de las tres dimensiones: social, medio ambiente y económico, desglosado en los atributos ilustrados en la Figura 1.

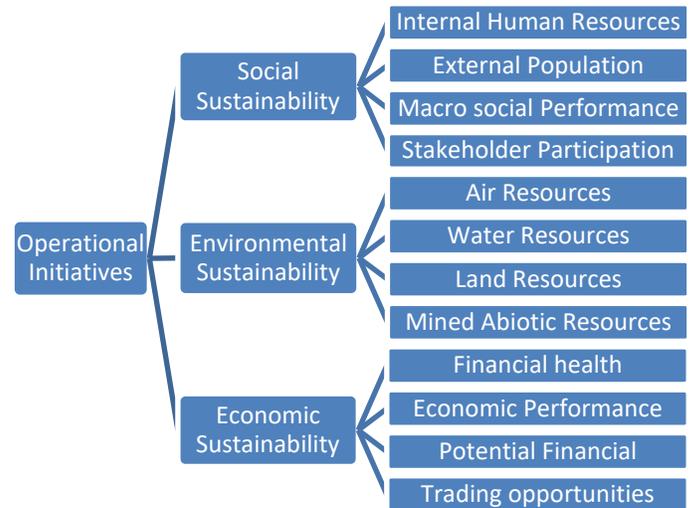


Figura 1 Estructura de Sostenibilidad (Adaptado de Labuschagne C, 2005)

3. Propuesta metodológica para la concientización de la sostenibilidad de las infraestructuras.

La estructura conceptual de Labuschagne [20] integra los tres aspectos de la sostenibilidad, donde cada dimensión está estructurada hasta un tercer nivel de atributos, alcanzando en total 12 criterios de evaluación (Figura 1), que debiesen estar considerados en una iniciativa de desarrollo de una infraestructura.

El método fue aplicado sobre un grupo de 36 profesionales del área de la construcción y matriculados en postgrados de la Universidad Politécnica de Valencia. El enfoque específico de los procesos pedagógicos diseñados, se estructuraron de acuerdo a las siguientes finalidades:

- Explicar la conceptualización de los atributos que involucra la sostenibilidad en la formulación de un proyecto de infraestructura.
- Identificar las diferentes valoraciones humanas respecto a las dimensiones de la sostenibilidad y la repercusión en la toma de decisiones.
- Concientizar al profesional respecto a su toma de decisiones orientadas en función de la valorización de los aspectos de la sostenibilidad, en consideración a los resultados de la priorización de proyectos de infraestructura.

Tabla 1 Escala de valoración de Saaty (Saaty T, 1990)

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda

La valorización de los criterios de sostenibilidad se realiza sobre 12 criterios conocidos e integrados bajo un proceso analítico jerárquico (AHP) para determinar el grado de apreciación por parte de los profesionales, cuyas posturas son capturadas a través de encuestas individuales de comparación por pares de atributos.

La metodología AHP, es un método de evaluación multicriterio discreto que se ha utilizado ampliamente en el ámbito de la construcción y otras áreas [26] [37] [41] para identificar las priorización de distintos atributos que intervienen en la evaluación de alternativas, entre ellas algunos ejemplos son la evaluación de contratistas [27] [33], evaluación de la seguridad y salud [33], evaluación de políticas para el desarrollo de proyectos [11], selección de la mejor localización de un proyectos de construcción [32], entre otras varias aplicaciones. El AHP valora el nivel de importancia de un aspecto frente a otro, a través de la escala de Saaty (**Tabla 1**). Dicha comparación se realiza en un primer bloque entre atributos/criterios de la sostenibilidad y en un segundo bloque entre alternativas de inversión (proyectos). Esto otorga al estudiante la posibilidad de contrastar su juicio técnico, ético y personal, respecto a los aspectos de la sostenibilidad y reforzando la comprensión del impacto del desarrollo de diferentes infraestructuras sobre la sociedad en forma holística.

Complementariamente, se usó un análisis de conglomerados jerárquico, para identificar y agrupar las valorizaciones de un primer bloque y caracterizar los perfiles obtenidos. En un segundo bloque un análisis de caso permitió concretar las decisiones de los profesionales en base a la comparación entre proyectos de acuerdo a la dinámica del sistema AHP.

El desarrollo específico del proceso es explicado en forma pormenorizada en los siguientes apartados.

4. Desarrollo del proceso.

La experiencia se desarrolló en 9 horas, compuesto en un primer bloque teórico presencial, entrega de las instrucciones de la dinámica de trabajo y aplicación de encuestas.

En un segundo bloque, se establecieron grupos colaborativos para la resolución de un análisis de caso, consistente en la selección de un proyecto de infraestructura de transporte entre tres diferentes alternativas otorgadas.

A continuación se presentan la descripción de las actividades claves contempladas en el proceso ilustrado en la **Figura 2**:

- Desarrollo Conceptual y Metodológico: En esta instancia, el instructor fue el facilitador principal del conocimiento. Las actividades asociadas a esta etapa involucraron el análisis de los conceptos asociados al desarrollo sostenible, particularizando los atributos y sub-atributos de las dimensiones sociales, ambientales y económicas. La dinámica de trabajo implicó:
 - Introducción e interiorización realizada por el instructor, donde se explicó el concepto general e interrelación de los atributos involucrados.
 - Análisis general de los estudiantes, sobre una guía de desarrollo, la cual ponía en antecedente breves situaciones simuladas de la vida real asociadas a la construcción, donde se debían identificar los aspectos de la sostenibilidad involucrados y su impacto positivo o negativo en base a una breve justificación por parte del estudiante. El instructor actúa como moderador de la actividad dentro del grupo curso.
 - En una segunda instancia, el instructor explica el proceso metodológico en base al sistema AHP y su aplicación en diversos ámbitos del sector de la construcción. La dinámica de trabajo implicó:
 - Introducción de los sistemas de evaluación multicriterios y presentación de los fundamentos metodológicos del AHP en base al desarrollo de un ejemplo y uso de Microsoft Excel.
 - Aplicación de un ejercicio formativo de menor escala, desarrollado por los profesionales, con uso de Microsoft Excel.

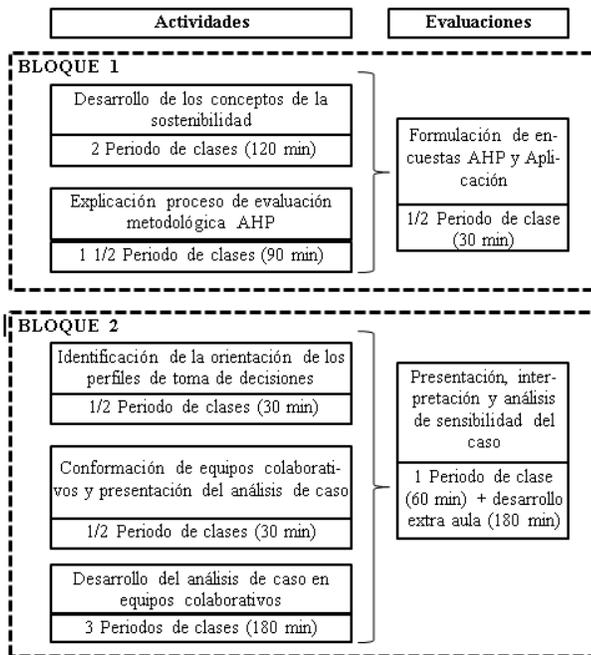


Figura 2 Esquema del desarrollo del proceso.

Aplicación de Encuestas: En una segunda etapa el estudiante actuó como experto y valor comparativamente los atributos que componen la sostenibilidad (Figura 1). El proceso de formulación de la encuesta y su operatoria de resolución fue instruido previamente en la descripción de proceso de evaluación metodológica AHP. Esta dinámica fue empleada como una evaluación formativa individual, en donde el estudiante debió resolver la encuesta facilitada por el instructor y contrastar los niveles de importancia de los aspectos de la sostenibilidad analizados previamente. La resolución de la encuesta fue aceptada por el instructor, en tanto esta reunió las siguientes características:

- Todas comparaciones han sido resueltas en base a la correcta aplicación de la estructura de llenado y valoración aplicando la escala de Saaty. [30]
- Las comparaciones entre agrupaciones jerárquicas (Figura 1), debieron ser consistentes según el ratio de consistencia establecido por Saaty (5 -10%). Para mayor detalle de su cálculo y fundamentos teóricos referirse a Saaty [30].

Perfiles de Toma de Decisiones: Las actividades de coordinación asociadas a la obtención de los perfiles de toma de decisiones están centralizadas en el instructor de la actividad. Una vez se han obtenido las 36 encuestas, cada una ha sido procesada conformando matrices entre atributos por cada nivel jerárquico (Figura 1). Para cada matriz se obtiene

los valores propios, que corresponden a los pesos parciales que cada estudiante otorga a los atributos comparados por cada nivel. Los pesos parciales son ponderados de acuerdo a la estructura jerárquica de la Figura 1, obteniéndose los pesos finales de los atributos de último nivel de la jerarquía. Para mayor detalle del proceso AHP dirigirse a Saaty T. [30]

Los pesos resultantes de las encuesta de cada estudiante, indican el orden de importancia que cada uno otorga a los atributos finales de la sostenibilidad. En base a dichos pesos se aplicó un análisis por conglomerado de acuerdo al método de Ward con apoyo del software estadístico SPSS versión 21, con objeto de agrupar e identificar la orientación de los perfiles de toma de decisiones respecto a la valoración de la sostenibilidad de las infraestructuras.

La Figura 3 muestra el dendrograma de Ward que ilustra el nivel de homogeneidad, en donde a una distancia de suma de cuadrados de 5 se conforma cuatro grupos con orientaciones diferenciadas de toma de decisiones. De esta forma, del análisis de las orientaciones de los grupos conformados, se obtiene la Tabla 3 que identifica los perfiles de toma de decisiones obtenido de los 36 profesionales que componen la muestra.

El instructor explico el reporte de resultados y su metodología a los profesionales, identificando el perfil al que pertenece cada uno de acuerdo a su numeración pre asignada

Tabla 2 Extracto de encuesta de comparación de atributos pareados (Formulada en base a Aznar J & Guijarro F (2012))

Contraste de atributos ⁽¹⁾	La variable menos importante cuantifica con 1 y la importancia de la otra se cuantifica teniendo en cuenta la escala previamente anunciada		
⁽¹⁾ Ver definición de atributos en tabla "Conceptos y Jerarquía". Todas las comparaciones deben ser resueltas.			
Por ejemplo si la Variable A frente a la Variable B, se ha determinado que A es mucho más importante que B (A tiene una importancia muy grande frente a B)	7	/	1
Por ejemplo, si la Variable A frente a la variable C, se ha determinado que C favorece ligeramente a A (C tiene una importancia moderada frente a A)	1	/	3
Variable Sostenibilidad Social frente a la variable Sostenibilidad Ambiental		/	
Variable Sostenibilidad Social frente a la variable Sostenibilidad Económica		/	
Variable Sostenibilidad Ambiental frente a la variable Población local externa		/	

Variable Recursos Humanos Internos frente a la variable Población local externa	/
Comparación del resto de atributos	/

Tabla 3 Perfiles de toma de decisiones frente a la sostenibilidad.

Conglomerado	Descripción del Perfil
1,00	Alta influencia social con baja consideración ambiental (Socioeconómico – Privilegio lo social). Es de trascendencia su preocupación por las prácticas de seguridad y salud de los recursos humanos internos, la salud del capital humano de la población local externa y las oportunidades de empleo que genera el proyecto.
2,00	Alta influencia económica y sin inclinación preferente entre lo social y lo ambiental (Economistas con consideración a lo socioambiental)
3,00	Alta influencia ambiental con baja consideración económica (Ambientalista social). Dentro de sus preocupaciones ambientales es de trascendencia los cuidados de los recursos agua y Aire. Por su parte socialmente tiene una relativa inclinación hacia las oportunidades de empleo y las prácticas de seguridad y salud.
4,00	Alta influencia ambiental con baja consideración social (Ambientalista económico). No manifiesta una preferencia marcada frente a la protección específica de algún recurso ambiental, todos le parecen relativamente significativos.

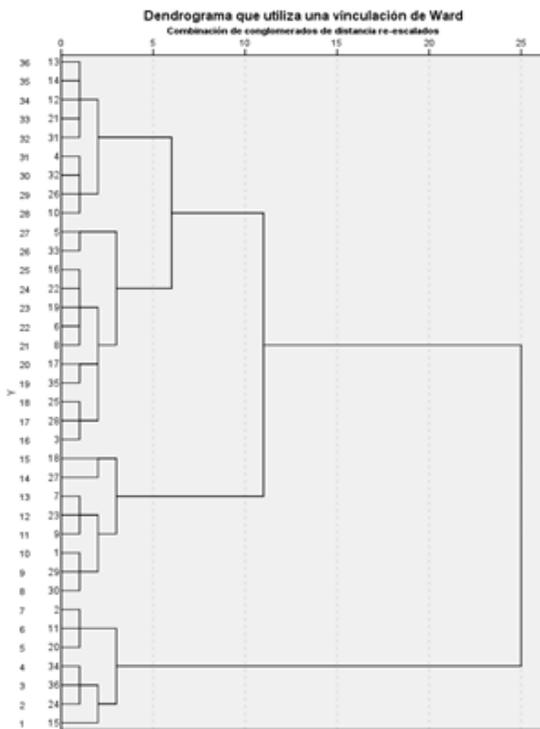


Figura 3 Dendrograma de Ward.

El análisis de caso se enmarcó en el proyecto de construcción para el acondicionamiento y refuerzo del firme del Tramo comprendido entre las localidades de Villalonga-Ador por las vías CV-685 de Villalonga y la vía CV-680 por Villalonga – Potries, en la Comunidad Valenciana, España.

Las opciones propuestas incorporaron 3 diferentes conjuntos de infraestructuras de interconexión (Figura 4 y Figura 5), las cuales surgieron por la necesidad de un acondicionamiento que requiere la carretera, dado el elevado índice de accidentabilidad generado en gran medida por las reducidas características geométricas de las vías y un elevado índice de tráfico de vehículos pesados superior a los 2000 veh/día, que transitaban por el sector urbano.

En este contexto, el caso pretende que los profesionales analicen las alternativas de mejoramiento de la situación propuesta de acuerdo a los atributos de la estructura jerárquica de la sostenibilidad (Figura 1), a objeto de identificar qué proyecto de mejoramiento (Figura 4 y Figura 5) ofrece una mayor contribución a la sostenibilidad. Para lograr este propósito, se procedió de acuerdo a la siguiente operatoria:

a) De acuerdo a los antecedentes entregados a los profesionales respecto de cada alternativa, el equipo de trabajo, analizó el nivel de importancia relativa de las tres alternativas de solución valorizada según las escala de Saaty (Tabla 1), para cada atributo del último nivel de la estructura jerárquica de la Figura 1. El equipo de trabajo presentó un único resultado de sus valoraciones en base a una matriz de comparación por cada atributo de último nivel de la Figura 1.

b) El equipo de profesionales obtuvo en cada una de sus matrices los valores propios que caracterizan el peso relativo que tiene una alternativa de mejoramiento frente a otra para cada uno de los atributos estudiados de la sostenibilidad.

c) El peso de cada una de las alternativas del análisis de caso en cada atributo es ponderado por el peso del atributo obtenido durante el bloque 1. Esto para obtener el peso global de cada alternativa de mejoramiento de la infraestructura de conexión vial que incluye la consideración de todos los atributos de la sostenibilidad, valorados por los profesionales, de acuerdo a los antecedentes técnicos de los proyectos y el juicio de valoración obtenido en el bloque 1.

El proceso de evaluación fue concretado a través de dos instrumentos, los cuales se detallan a continuación:

- La aplicación de una encuesta de valoración de preferencias de atributos (Tabla 2). Esta fue una evaluación formativa, donde el profesional tuvo ilimitadas oportunidades

para su resolución en forma correcta. El propósito de esta evaluación fue generar la instancia en que el propio estudiante se enfrente e integre la conceptualización de los atributos de sostenibilidad y su juicio de valoración sobre los atributos de acuerdo a la comparación por pares de Saaty. Para mayor detalle referirse al apartado 4 de este trabajo

- Por su parte, se diseñó y aplicó una rúbrica para evaluar la resolución del análisis de caso propuesto a los profesionales (Tabla 4). La evaluación resultante es de carácter sumativo y su propósito es identificar el nivel de comprensión del estudiante respecto a las repercusiones de las valorizaciones humanas en la toma de decisiones y en qué grado las diferentes características de las alternativas de proyectos de infraestructura contribuyen en mayor o menor grado a la sostenibilidad



Figura 4 Alternativa 0, situación sin proyecto (actual)



Figura 5 Alternativa 1; Mejora del trazado del último tramo de la CV-685 (eliminación del garrote y ampliación de la anchura del puente) y creación de un nuevo eje de conexión con la CV-680 por fuera de la población



Figura 6 Alternativa 2; Creación de un nuevo vial de conexión entre ambas vías mediante un nuevo puente y sendas glorietas

5. Conclusiones.

Los profesionales encargados de la planificación de los proyectos de infraestructuras deben ser capaces de crear soluciones eficientes de manera técnica, económica, ambiental y socialmente sostenibles de una forma integral. Pero para ello el proceso de formación debe evitar la parcialidad en la conceptualización del “desarrollo sostenible”, de tal manera que no pre condicione la toma de decisiones futuras de estos profesionales. El enfoque de enseñanza presentado en esta comunicación, tiene como propósito fomentar la conciencia respecto a los tres pilares

fundamentales de la sostenibilidad, junto con proponer una metodología para valorizar las preferencias de los aspectos que la componen y analizar cómo estas influyen la toma de decisiones.

Los resultados obtenidos a partir del desarrollo de esta metodología y el uso del sistema AHP evidencian que esta propuesta es apropiada para identificar la orientación de toma de decisiones de los profesionales de postgrado, frente a los temas de sostenibilidad. Además la asociación al desarrollo de una análisis de caso, ha permitido recrear la formulación de un análisis crítico, en donde el estudiante ha podido percatarse de cómo sus valorizaciones personales y/o de equipos de trabajos con similitud formativa, que son parte de una sociedad e incluso son y/o serán responsables del diseño, administración y/o ejecución de los proyectos de infraestructuras, influyen en la selección de un proyecto o bien las características que estos llevan asociados.

Nuestra muestra (no necesariamente representativa de un conjunto profesional) se evidenciaron cuatro perfiles de pensamiento frente a la sostenibilidad de las infraestructuras:

Socioeconómico, Económico, Ambiental- Económico y Ambiental-Social. Esto en ningún caso es generalizable a otros profesionales, no obstante el perfil de dichos grupos ha sido consecuente con los resultados de propuestas iniciales seleccionadas por los equipos de trabajo previo a la sensibilización del análisis caso.

Es de consideración que esta propuesta ha sido desarrollada en un contexto de profesionales con un alto nivel de experiencia en el área técnica del desarrollo de infraestructuras y con un enfoque de aprendizaje activo. Futuras investigaciones debiesen estar orientadas a fortalecer la consulta de preferencias, de tal manera de diagnosticar en forma más aproximada y representativa la valoración de los profesionales frente a los aspectos de la sostenibilidad. Esta es una contribución que debiese apuntar a satisfacer las necesidades de formación de los ingenieros y profesionales del área de la construcción, cuyas consideraciones técnicas y económicas en su desarrollo profesional, no son hoy en día suficientes para dimensionar el alcance de sus responsabilidades.

Tabla 4 Rubrica evaluación de la sostenibilidad con AHP del análisis de caso

PROCEDIMIENTO (20%): Presentación metodológica organizada y reflexiva del trabajo en equipo.			
Presentan y preparan en forma eficiente, efectiva el estudio de caso. Identifica todos los elementos del caso. (4 pts)	Presentan y preparan en forma eficiente, efectiva el estudio de caso. No identifica todos los elementos del caso (3 pts)	Presentan y no preparan en forma eficiente, efectiva el estudio de caso. Identifica parcialmente algunos de los elementos del caso (2 pts)	Su presentación esta fuera del esquema formal y muestra deficiencias y poca efectividad en el estudio de caso. No Identifica los elementos del caso (1 pto)
INTERPRETACION Y ANALISIS (SENSIBILIDAD) (30%): Identifica las repercusiones de las características de proyectos contribuye a la sostenibilidad.			
Identifica todas las características significativas de cada proyecto para un mayor o menor grado de contribución de a la sostenibilidad. Las argumentaciones son correctas (4 pts)	Identifica parcialmente las características significativas de cada proyecto para un mayor o menor grado de contribución de a la sostenibilidad. Las argumenta y las desarrolla correctamente (3 pts)	Identifica parcialmente las características significativas de cada proyecto para un mayor o menor grado de contribución de a la sostenibilidad. Las argumentaciones son inexactas (2 pts)	Identifica características sin remarcar su nivel de significación. Su argumentación es insuficiente (1 pto)
INTERPRETACION Y ANALISIS (SENSIBILIDAD) (30%): Identifica las repercusiones de las valorizaciones humanas en la toma de decisiones.			
Presentan argumentaciones y justificaciones acertadas y suficientes respecto a los correctos resultados del proceso metodológico de sensibilización. Identifica, matices, variaciones e influencias (4 pts)	Formula el proceso de sensibilización en forma metodológica a explicación es no abarcan la totalidad de puntos de vista. Identifica en forma parcial matices variaciones e influencias (3 pts)	Formula el proceso de sensibilización en forma metodológicamente correcta pero su argumento a explicación es insuficiente para validar la comprensibilidad del tema (2 pts)	Se formula el análisis de sensibilidad, más su argumentación e interpretación es nula o bien la formulación metodológica de la sensibilidad presenta debilidades que invalidan cualquier argumentación (1 pto)

CONCLUSIÓN (20%): Opiniones personales

Las conclusiones y opiniones abordan el caso de estudio, son claras, definen y ayudan a comprobar la hipótesis planteada (4 pts)

Las conclusiones y opiniones abordan el caso de estudio, no son claras, definen y ayudan a comprobar la hipótesis planteada (3 pts)

Las conclusiones y opiniones abordan el caso de estudio, carecen de claridad, son diferentes a la hipótesis planteada (2 pts)

Las conclusiones y opiniones son diferentes al estudio de caso, no ayudan a comprobar la hipótesis planteada (1pto)

6. Bibliografía.

[1] Abdul-Wahab, S.A., Abdulraheem, M.Y., Hutchinson, M., (2003). The need for inclusion of environmental education in undergraduate engineering curricula. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 4 (2), 126-137.

[2] Anand, S., & Sen, A. (2000). Human Development and Economic Sustainability. *World Development*, 28(12), 2029–2049. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00071-1](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00071-1)

[3] Aznar J & Guijarro F (2012) Nuevos métodos de Valoración – Métodos Multicriterios, Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 2da edición, 269 pp

[4] Bacon, C. M., Mulvaney, D., Ball, T. B., DuPuis, E. M., Gliessman, S. R., Lipschutz, R. D., & Shakouri, A. (2011). The creation of an integrated sustainability curriculum and student praxis projects. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(2), 193-208.

[5] Boks, C., & Diehl, J. C. (2006). Integration of sustainability in regular courses: experiences in industrial design engineering. *Journal of Cleaner Production*, 14(9), 932–939. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.038>

[6] Brent A.C, van Erck R.P, and Labuschagne C (2006), Sustainability cost accounting – Part: A monetary procedure to evaluate the sustainability of technologies in the South African process industry. *SA Journal of Industrial Engineering*, 17(2), 35-51.

[7] Brent, A. C., Rogers, D. E. C., Ramabitsa-Siimane, T. S. M., & Rohwer, M. B. (2007). Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimise infection risks in developing countries. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 403–424. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.015>

[8] Brundtland G, et al (1987). Report of the World Commission on Environment and De-velopment: Our Common Future (Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427- Development and International Cooperation: Environment). United Nation. Oslo, Noruega.

[9] Bubou, G.M., Brent, A.C. & Tredoux, C.. Towards assessing the social sustainability performance of the

petroleum industry in the Niger Delta Region of Nigeria. *S. Afr. J. Ind. Eng.* [aaaonline]. 2009, vol.20, n.1, pp.119-132. ISSN 2224-7890.

[10] CIB (1999). Agenda 21 on Sustainable Construction, CIB Report Publication No. 237, Rotterdam.

[11] Dytczak, M., & Ginda, G. (2009). Identification of building repair policy choice criteria role. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(2), 213-228. doi:10.3846/1392-8619.2009.15.213-228

[12] Florez L., Castro-Lacouture D. and Medaglia A.L. (2013). Sustainable workforce scheduling in construction program management. *J. Oper. Res. Soc.*, 64(8), 1169–1181.

[13] Foladori, G., (2005)., Advances and limits of social sustainability as an evolving concept, *Canadian Journal of Development Studies*, 26, 501-510.

[14] Gardner, J.E., (1989) Decision making for sustainable development: selected approaches to environmental assessment and management. *Environmental Impact Assessment Review*, 9, 337-366.

[15] Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustain ability. *Annual Review of Ecological System*, 26, 1- 24.

[16] Hill, R. & Bowen P., (1997) Sustainable construction: principles and a framework for attainment. *Construction Management and Economics*, 15, 223-239.

[17] Kamp, L., (2006). Engineering education in sustainable development at Delft University of Technology. *Journal of Cleaner Production* 14 (9-11), 928-931.

[18] Lang D., Scholz R.W., Binder C.R., Wiek A. and Stäubli B. (2007). Sustainability potential analysis (SPA) of landfills - a systemic approach: theoretical considerations a systemic. *J. Clean. Prod.*, 15(17), 1628–1638.

[19] Labuschagne C. Sustainable project life cycle management: criteria for the South African process industry. Master’s thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Pretoria, February 2003.

[20] Labuschagne C. et al. (2005) Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production* 13 373 -385.

- [21] Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2008). An industry perspective of the completeness and relevance of a social assessment framework for project and technology management in the manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, 16(3), 253-262. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.028>
- [22] Lozano, R., & Peattie, K., Developing a Tool to Audit Curricula Contributions to Sustainable Development. In: W. Leal Filho (ed.), *Sustainability at Universities – Opportunities, Challenges and Trends* (Vol. 31). Frankfurt am Main, Germany: Peter Lang Publishing Group, 2009.
- [23] Lozano, R. (2010). Diffusion of sustainable development in universities' curricula: An empirical example from Cardiff University. *Journal of Cleaner Production*, 18(7), 637-644.
- [24] Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisinigh, D., & Lambrechts, W. (2013). Declarations for sustainability in higher education: Becoming better leaders, through addressing the university system. *Journal of Cleaner Production*, 48, 10-19.
- [25] Lozano, R., & Young, W. (2013). Assessing sustainability in university curricula: Exploring the influence of student numbers and course credits. *Journal of Cleaner Production*, 49, 134-141.
- [26] Marzouk, M., El Shinnawy, N., Moselhi, O., & El-Said, M. (2013). Measuring sensitivity of procurement decisions using superiority and inferiority ranking. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 12(3), 395-423.
- [27] Pastor-Ferrando, J. P., Aragoes-Beltran, P., Hospitaler-Perez, A., & Garcia-Melon, M. (2010). An ANP- and AHP-based approach for weighting criteria in public works bidding. *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 905-916.
- [28] Peet, D.-J., Mulder, K.F., Bijma, A., (2004). Integrating SD into engineering courses at the Delft University of Technology. The individual interaction method. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 5 (3), 278-288.
- [29] Quist, J., Rammelt, C., Overschie, M., de Werk, G., (2006). Backcasting for sustainability in engineering education: the case of Delft University of Technology. *Journal of Cleaner Production* 14 (9-11), 868-876.
- [30] Saaty T L, (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* , 48, 9-26.
- [31] Segalas, J., Ferrer-Balas, D., & Mulder, K. F. (2010). What do engineering students learn in sustainability courses? the effect of the pedagogical approach. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 275-284.
- [32] Sener, B., Suzen, M., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology*, 49(3), 376-388.
- [33] Shapira, A., & Simcha, M. (2009). AHP-based weighting of factors affecting safety on construction sites with tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 135(4), 307-318.
- [34] Thomas, I., (2004). Sustainability in tertiary curricula: what is stopping it happening? *International Journal of Sustainability in Higher Education* 5 (1), 33-47
- [35] UNCED (1992). *Agenda 21: Action Plan for the Next Century*. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro: United Nations.
- [36] Valdes-Vasquez, R., & Klotz, L. (2011). Incorporating the social dimension of sustainability into civil engineering education. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 137(4), 189-197.
- [37] Vidal, L., Marle, F., & Bocquet, J. (2011). Using a delphi process and the analytic hierarchy process (AHP) to evaluate the complexity of projects. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5388-5405.
- [38] von Blottnitz, H., (2006). Promoting active learning in sustainable development: experiences from a 4th year chemical engineering course. *Journal of Cleaner Production* 14 (9-11), 916-923.
- [39] Wemmenhove, R., & de Groot, W. T. (2001). Principles for university curriculum greening - An empirical case study from Tanzania. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2(3), 267-283. <http://doi.org/10.1108/14676370110388354>.
- [40] Wright, T. S. A., & Wilton, H. (2012). Facilities management directors' conceptualizations of sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 31, 118-125.
- [41] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Vilutiene, T. (2009). Multicriteria evaluation of apartment blocks maintenance contractors: Lithuanian case study. *International Journal of Strategic Property Management*, 13(4), 319-338.



LABORATORIO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO INGENIERÍA OBRAS CIVILES
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

SERVICIOS DE NUESTRO LABORATORIO

ESTUDIO DE
MECÁNICA DE SUELOS

MUESTREO &
ANÁLISIS DE SUELOS

MUESTREO & ANÁLISIS DE
ÁRIDOS PARA DOSIFICACIÓN DE
HORMIGONES & MORTEROS

TOMA DE MUESTRAS DE
HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

EXTRACCIÓN & ENSAYO DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN

ENSAYOS DE RESISTENCIA
MECÁNICA AL HORMIGÓN

ASESORÍAS DE
LABORATORIO

ÁREA MECÁNICA DE SUELOS
ÁREA ÁRIDOS & HORMIGONES

HORARIO DE ATENCIÓN
LUNES A VIERNES 09 A 13 HRS. & 14 A 19 HRS.
AVDA. FRANCISCO SALAZAR 01145 TEMUCO
FONO FAX 45 259 2818 LABMATERIALES@UFRO.CL



rioc.cl