

A M B I E N T E
T E C N O L O G Í A
D I S E Ñ O
S U S T E N T A B L E

ATDS

-Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética-

AMBIENTE, TECNOLOGÍA Y DISEÑO SUSTENTABLE
**Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida,
el confort y la eficiencia energética.**

Arturo Maristany / Compilador



Ambiente, tecnología, diseño sustentable : las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética / Germán Baigorri ... [et al.] ; contribuciones de Martín Coll ; compilado por Arturo Maristany ; editado por Germán Baigorri. - 1a ed compendiada. - Córdoba : Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, 2020.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-987-4415-80-6

1. Arquitectura . 2. Ambiente. 3. Tecnologías. I. Baigorri, Germán, ed. II. Coll, Martín, colab. III. Maristany, Arturo, comp.

CDD 720.47

Compilación: Arturo Maristany

Edición: Germán Baigorri

Edición Gráfica: Martín Coll

PRÓLOGO

Esta Publicación sintetiza los principales aportes realizados en el marco del programa de investigación Ambiente, Tecnología y Diseño Sustentable. Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética (SeCyT – UNC).

El programa se establece con el objetivo de generar un espacio de investigación destinado al estudio de las relaciones entre las preexistencias ambientales, el confort urbano o edilicio y las tecnologías adecuadas para el control y manejo eficiente de los recursos. Parámetros tales como la luz natural y la radiación solar; la temperatura, el movimiento y la humedad del aire, el agua y los sonidos y ruidos urbanos, se cuentan entre las principales preexistencias a manejar e incorporar como recursos de diseño sustentable tanto a nivel urbano como edilicio. Los espacios arquitectónicos o urbanos interactúan con el ambiente, modificando, aprovechando o sufriendo estas preexistencias. Una adecuada calidad ambiental del hábitat construido se alcanza a partir de un conjunto de técnicas, infraestructuras y equipamientos que en conjunto definen el concepto de acondicionamiento ambiental. La calidad se produce a partir de la adaptación eficiente y sustentable de los espacios arquitectónicos y urbanos a las condiciones ambientales, de manera progresiva desde la escala urbana a la edilicia.

El programa articula un conjunto de proyectos a partir de cuyos lineamientos se pueden establecer los siguientes objetivos específicos:

- Contribuir al estudio de las envolventes arquitectónicas adaptativas verificando su potencial de aplicación a las condiciones y preexistencias ambientales de la Provincia de Córdoba en particular, y para el clima templado en general, rescatando su aplicabilidad en el diseño sustentable y su potencial como recurso para la reducción de la demanda energética.
- Indagar en la eficiencia energética de sistemas basados en el aprovechamiento geotérmico en edificios educativos
- Aprovechamiento y manejo del agua de lluvia como recurso.
- Proponer acciones tendientes a mejorar las condiciones ambientales en post de una conservación adecuada de los bienes culturales en espacios particulares de la Manzana Jesuítica de Córdoba.
- Validar el uso de sistemas de construcción con tierra como envolvente en viviendas sustentables. En la Provincia de Córdoba, en base al estudio del comportamiento higrotérmico y mecánico del muro tapial.
- Aportar al diseño luminotécnico eficiente desde del estudio de las decisiones del proyecto arquitectónico y su afectación en tipologías institucionales.
- Reconocer indicadores ecológicos, de sustentabilidad del paisaje, y socioculturales adecuados para ser utilizados en el estudio de la calidad de los espacios abiertos urbanos públicos.

La eficiencia energética implica el estudio de las preexistencias y su relación e impacto en la definición de los sistemas de aprovechamiento energético a la par de la integración de estos componentes al diseño arquitectónico y/o urbano. La relación entre las condiciones ambientales, los recursos tecnológicos y el diseño sustentable se puede abordar desde múltiples enfoques, todos relacionados entre sí: estudio sistemático de las preexistencias ambientales, las estrategias de diseño ambiental a nivel urbano y la definición de tecnologías apropiadas que permitan su control y aprovechamiento.

INDICE

PARTE 1 “Sobre la Sustentabilidad urbana”

Capítulo 1: “Arquitectura del paisaje”	14
Capítulo 2: “Ruido urbano vs. Paisaje sonoro”	28

PARTE 2 “Sobre el Acondicionamiento sustentable”

Capítulo 3: “La envolvente adaptativa pasiva como recurso de la arquitectura sustentable”	44
Capítulo 4: “Eficiencia luminotécnica y diseño arquitectónico”	58
Capítulo 5: “Condiciones de entornos ambientales para la conservación preventiva de colecciones en la manzana Jesuítica de Córdoba”	68
Capítulo 6: “Evaluación del desempeño de sustentabilidad ambiental hacia la eficiencia energética en edificios”	78

PARTE 3 “Sobre la Construcción y las Tecnologías sustentables”

Capítulo 7: “Geotermia de baja entalpía en suelos loésicos y su aplicación en viviendas”	94
Capítulo 8: “El ahorro de agua”	108
Capítulo 9: “Diseño estructural sostenible en Hormigón Armado”	120
Capítulo 10: “Envolventes en viviendas sustentables”	132

“ SOBRE LA SUSTENTABILIDAD URBANA ”



ARQUITECTURA DEL PAISAJE
EL ESPACIO ABIERTO URBANO PÚBLICO COMO
INFRAESTRUCTURA AMBIENTAL

Autores:

German Baigorri
Pablo Carballo
Edgar Érmoli
Fabián Tolosa
Griselda Lorenzo

Introducción

En este artículo se presenta una síntesis ordenada de lo indagado, ensayado y ejecutado en los últimos tres bienios por el equipo de investigación de la cátedra Arquitectura Paisajista B (APB) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, siempre tomando como eje rector el concepto de sostenibilidad urbana abordado mediante la aplicación de indicadores.

La finalidad de los últimos procesos de investigación es la traslación del cuerpo de conocimientos y los criterios teóricos y prácticos generados en las investigaciones anteriores al proceso de diseño y la práctica de proyecto del espacio abierto urbano público en el dictado de la materia de grado; con el objetivo de lograr proyectos enmarcados en el concepto de sostenibilidad urbana y articular una sinergia investigativa – académica de conocimientos y prácticas proyectuales ejercitadas por los docentes investigadores y los estudiantes.



Viaje Académico APB Chile 2019. Visita "Oratorio Virgen del Parque", Parque del Bicentenario, Vitacura, Santiago de Chile.

El enfoque conceptual de la disciplina

¿Cómo entendemos la arquitectura del paisaje?

Actualmente el crecimiento de la ciudad contemporánea es exponencial en lo demográfico y en extensión, con centralidades dispersas y vínculos que trascienden sus fronteras geográficas. Hay una disolución de las fronteras nítidas entre lo natural y lo artificial en el mundo en general y en las ciudades en particular, por su extensión difusa en el territorio, por el avance de las “fronteras urbanas” y paradójicamente de las “fronteras rurales”, por la revolución tecnológica de las ciencias y comunicaciones.

Córdoba, superando el millón de habitantes, no escapa a estas lógicas.

Esta situación contemporánea ha puesto en crisis no solo la organización y diseño del territorio urbano, sino también a la misma arquitectura, expresada en la relación arquitectura - ciudad, que opone la obra humana a la naturaleza y la somete.

Un nuevo paradigma

En este escenario actual, se hace indispensable incorporar un nuevo concepto, de arquitectura-ciudad-naturaleza, que nos aproxima a esta última y establece con ella una interacción expresada de manera diferente.

El proyecto en arquitectura del paisaje, implica comprender de manera integrada y holística las variables naturales y antrópicas del paisaje urbano y sus relaciones con las condicionantes naturales del territorio, para luego operar proyectualmente sobre el espacio abierto urbano público.

“Los arquitectos paisajistas se ocupan del proyecto arquitectónico de los espacios abiertos urbanos públicos.”

Arquitectura paisajista se aboca a la proyectualidad del espacio abierto urbano público, introduciendo nuevas escalas y complejidades, ya que el proyecto es un híbrido entre arquitectura, naturaleza y ciudad.

El hecho de proyectar la espacialidad exterior no es menor, ya que implica una estrecha relación con el medioambiente, incorporando como insumos proyectuales los componentes naturales, que son operados como elementos estructurantes, configuradores y cualificadores del proyecto.

Al ser el diseño del espacio exterior campo específico de la disciplina arquitectura paisajista, el proyecto del espacio abierto determina el reconocimiento de nuevas escalas de proyectualidad. Una de ellas es el espacio abierto urbano público, su escala, valores, lógica de apropiación y proyectualidad se constituyen por definición en los ejes de acción de la arquitectura del paisaje.

El espacio abierto urbano público es el lugar social por excelencia, que contiene y permite el desarrollo comunitario de las actividades colectivas. Este, como contenedor de los componentes naturales y socio culturales de la ciudad, es el soporte de la condición urbana y compete indefectiblemente a la Arquitectura Paisajista.

Hablar de la condición urbana, y en específico del espacio abierto urbano público, implica entender el uso social del espacio exterior, reconocer los grupos sociales que lo accionan, su idiosincrasia y formas de vida para operar acciones de proyecto que lo configuren, formulando programas cuali-cuantitativos, desarrollando los espacios públicos del hecho urbano.

El proyecto en arquitectura del paisaje implica comprender de manera integrada y holística las variables naturales y antrópicas del paisaje urbano y sus relaciones con las condicionantes naturales del territorio, para luego operar proyectualmente sobre el espacio abierto urbano público.

Proyectar el espacio abierto urbano público

Actualmente profesionales, docentes y estudiantes de Arquitectura enfrentamos el desafío de incorporar a nuestro bagaje y proceso de diseño la complejidad y la nueva escala de proyectualidad que implica la resolución arquitectónica del Espacio Público. En el dictado de APB, buscamos que los estudiantes entiendan que los espacios exteriores tienen condiciones espaciales diferentes a las que ha resuelto anteriormente, y logren el conocimiento primero y posteriormente incorporen los componentes naturales (topografía, agua, vegetación, clima) como insumos de proyecto.

El estudiante de cuarto nivel de la carrera posee un conocimiento instrumental sobre los alcances y finalidades del proyecto, por lo que es pertinente que sea entrenado en dos condiciones fundamentales y congruentes:

- El proyecto como mecanismo de investigación, ensayo y experimentación.
- El proyecto como una simulación de la práctica del oficio.

En función de que el proyecto académico, como una simulación de la práctica profesional implica compromiso y espíritu crítico, y a su vez, es un ejercicio de investigación donde se explora, indaga, genera y revisa para generar un constructo intelectual entendido como proyecto.

Al desafío anteriormente planteado, sumamos la complejidad de generar la comprensión de la multiescalaridad, complejidad y aporte ambiental del proyecto del paisaje.

Proyecto académico situado = Insumo de la investigación proyectual

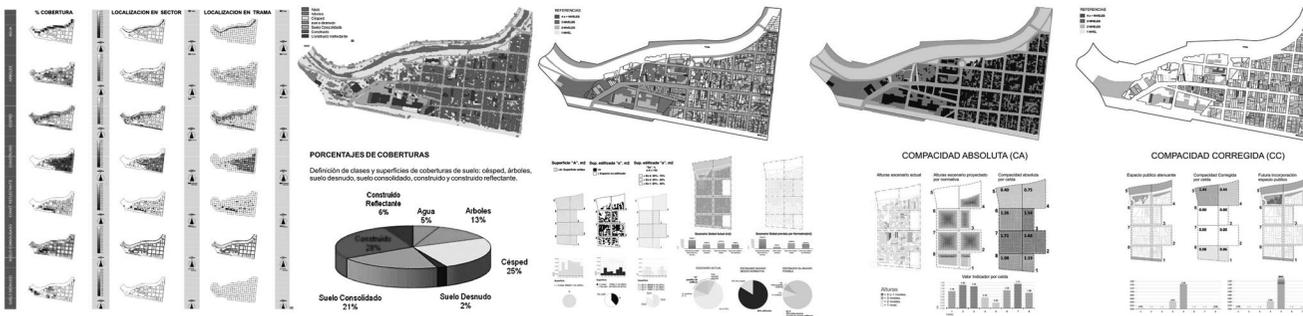
El proyecto académico situado plantea abordar el diseño desde la resolución de una problemática contextualizada en la ciudad de Córdoba, reflexionando y explorando distintas miradas desde el modelo investigación/acción; conocer, reflexionar, interpretar y proyectar se desarrolla en la práctica áulica como taller-laboratorio de ideas.

El proyecto académico disciplinar se transforma en un ejercicio aplicado sobre el territorio urbano, planteando la investigación conjunta y paralela entre el equipo docente y el estudiantado; realizando análisis, adoptando posturas críticas, desarrollando estructuras novedosas proyectando con los contenidos propios de la disciplina y su relación con conceptos específicos de arquitectura y urbanismo, y generando hipótesis superadoras conforme el avance del proceso creativo proyectual.



Taller APB, laboratorio de Ideas. Mapeo y trabajo colectivo sobre sitio Barrio San Martín, ciclo 2017.

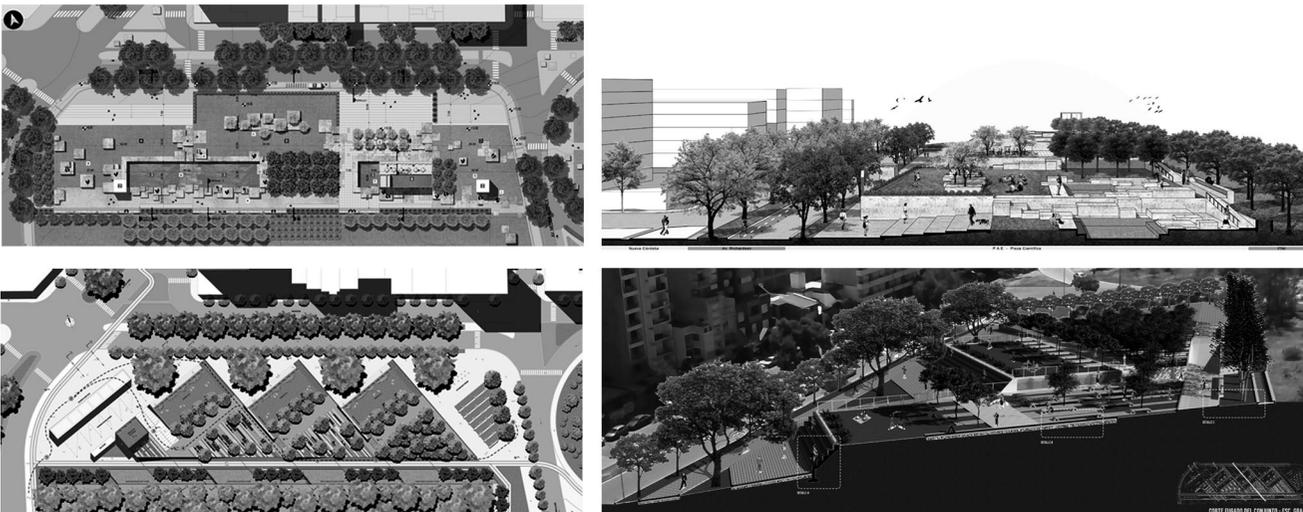
Indicadores de Estructura Morfológica Urbana



Indicadores de Habitabilidad del Espacio Abierto Público



Indicadores de paisaje - Investigación GIAPB 2010 - 2015



Proyecto Academico Situado - Alumnos APB Año 2019 - Ciudad Universitaria UNC

El proyecto arquitectónico paisajístico como infraestructura ecológica

En los periodos 2016/2017, y 2018/2019 se trabajaron los indicadores de Habitabilidad y Confort urbano y las variables ecológicas y fenomenológicas del paisaje, dándoles continuidad de aplicación en los ejercicios académicos proyectuales realizados por los alumnos en el marco de la cátedra APB. FAUD. UNC

La investigación es abordada a partir de la aplicación de indicadores, que permitieron conocer y determinar los parámetros de sostenibilidad ambiental y paisajística de los polígonos de actuación, localizados en Barrio San Martín (ciclo lectivo 2016/2017) y Ciudad Universitaria (ciclo lectivo 2018/2019).

En una primera instancia, se aplicaron los indicadores sobre la situación actual de los predios investigados.

En etapas posteriores, se realizaron análisis sobre ejercicios académicos conceptualizados como casos de estudio, comparándose los resultados y verificándose los aportes del proyecto a la situación original en lo relacionado a los conceptos de sustentabilidad trabajados.

La aplicación de indicadores de sustentabilidad ambiental y paisajística en experiencias académicas de investigación proyectual del espacio abierto urbano público

Se aplicaron indicadores de sustentabilidad urbana orientados al confort y habitabilidad del espacio urbano y el paisaje.

Centrando las acciones en dos aspectos:

- Afianzar conceptos de la dimensión ecológica del paisaje y el estudio de la dimensión fenomenológica del paisaje.
- Iniciar las primeras prácticas exploratorias de proyecto como elemento sintetizador del ecosistema entendiendo su diseño como una totalidad sustentable.

En esta línea de pensamiento, sostenemos que el conocimiento en arquitectura del Paisaje se produce a través del proyecto, el cual no debe ser entendido solo como un método, sino que debe ser utilizado como una herramienta con la finalidad de producir nuevos saberes,

que luego son aplicables y reproducibles a la realidad. En este punto citamos a Jorge Sarquis (2014) que plantea: “La Investigación Proyectual es una teoría, metodología y técnica de generación, recepción e interpretación de la producción arquitectónica, basada en una epistemología que despliega Variables e Indicadores (...) actualizada al momento contemporáneo y situada en el contexto de intervención.”¹

Es a partir de estas reflexiones, que desarrollamos las investigaciones desde el enfoque de la sustentabilidad que ha orientado nuestros anteriores estudios.

Considerando además que en Arquitectura Paisajista la proyectualidad del Espacio Abierto Urbano público se aborda desde el lugar donde se ubica el proyecto y se ajusta a la realidad de la situación actual existente, estudiando y accionando tanto sobre el soporte como las características de su Sistema Natural y Sociocultural del sitio y su contexto.

Continuando con las reflexiones de Sarquis: “la investigación proyectual no aspira a producir –como la profesión o la formación- obras de excelencia de la arquitectura (...), sino a producir conocimiento disciplinar replicable, eficaz y validado por argumentos epistémicos disciplinares.” (íbidem).

El objetivo del presente proyecto es articular la investigación proyectual con la práctica docente en el taller de proyecto, entendiendo al proyecto como un dispositivo de investigación aplicada y trabajando a partir de indicadores, los cuales actuarán como parámetros de validación y eficacia práctica, sometiéndolos a revisión y comprobación de manera sistemática para facilitar la comparación y clasificación de sus resultados, tarea que el grupo de investigación ejecuta en laboratorio.

Tanto los conceptos desarrollados como los indicadores previamente estudiados se aplicaron a la praxis proyectual del taller, generando nuevos conceptos y argumentos epistemológicos disciplinares que a partir del análisis y la contrastación con los modos actuales de la proyectualidad del EAUP, permitiendo la sistematización de resultados por parte del grupo investigador.

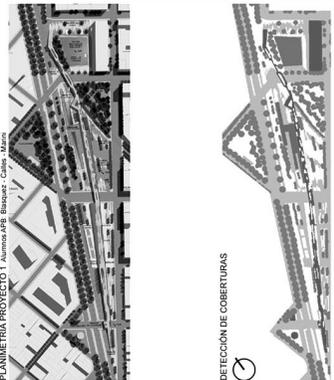
¹ SARQUIS, Jorge, 2014. En Unidad de Arquitectura Paramétrica. En Jorge Sarquis (compilador). Itinerarios del proyecto. Experiencias Pedagógicas Creativas. Didáctica proyectual arquitectónica, Buenos Aires, Argentina, Centro Poiesis – SI – FADU – UBA. Editorial Nobuko. Serie Experiencias Pedagógicas Creativas.

SITUACIÓN ACTUAL



- REFERENCIA COBERTURAS
- Agua
 - Arboles
 - Césped
 - Suelo Desnudo
 - Suelo Semi-Consolidado
 - Suelo Consolidado
 - Construido
 - Construido Reflectante

PROYECTO N°1



- REFERENCIA COBERTURAS
- Agua
 - Arboles
 - Césped
 - Suelo Desnudo
 - Suelo Semi-Consolidado
 - Suelo Consolidado
 - Construido
 - Construido Reflectante

PROYECTO N°2



- REFERENCIA COBERTURAS
- Agua
 - Arboles
 - Césped
 - Suelo Desnudo
 - Suelo Semi-Consolidado
 - Suelo Consolidado
 - Construido
 - Construido Reflectante

Proyectos académicos situados. Análisis de coberturas - B°
San Martín, Córdoba - Año 2017

Las investigaciones se instrumentaron mediante dos variables

En relación a las condiciones ecológicas, se realizó un análisis y clasificación de coberturas de los sectores de estudio, orientado a obtener datos cuantitativos que permitan construir resultados proporcionando información sobre el estado actual de las variables estudiadas y el impacto en la formulación de acciones futuras, analizando las propuestas de proyectos de los alumnos para establecer objetivamente si las mismas realizan aportes verificables desde la variable ecológica.

Variable “Habitabilidad del espacio abierto urbano”.

En esta fase de la investigación, para realizar el análisis de la situación actual del sector de intervención y los ensayos proyectuales de los casos de estudio (trabajos de alumnos del grado), se utilizaron como insumo los indicadores generados en la investigación correspondiente al bienio 2012-2013, en relación a la variable “Habitabilidad del espacio abierto urbano”, trabajando con indicadores referidos a:

- Forestación del espacio público urbano y Comportamiento hídrico en el espacio urbano
- Sombra Proyectada Estándar
- Albedos y evapotranspiración
- Generación de oxígeno diario por arbolado
- Fijación del Dióxido de Carbono por el Arbolado
- Absorción de aguas pluviales sobre superficie
- Análisis de coberturas – situación actual

Variable “Fenomenología del paisaje urbano”.

El segundo enfoque se refiere al estudio fenomenológico del paisaje centrándose en su morfogénesis y cualidad-calidad visual, utilizando como referencia los estudios de Kevin Lynch (1976); que pone en valor los atributos ecológicos, sociales-perceptuales del paisaje; la imagen del paisaje urbano percibida comienza a ser valorada como recurso y bien a preservar, requiriendo de un uso y un accionar eficiente del mismo.

En relación a la Variable Fenomenología del paisaje urbano, el análisis del sector con los indicadores de Paisaje se realizó a partir del estudio físico, fenomenológico y visual del paisaje.

Los indicadores estudiados fueron tres referidos a:

- Diversidad paisajística
- Fragmentación del paisaje
- Transformación e impactos en el paisaje

Logros del proyecto

Podemos citar como logros del presente proyecto:

El proyecto Arquitectónico Paisajístico como generador de conocimiento

Los resultados cuantitativos y cualitativos generados en los procesos investigativos relacionados a la sustentabilidad urbana, comparando los análisis de las condiciones actuales del predio de intervención con condiciones generadas por las acciones de proyecto, permitieron la generación de nuevos conceptos por parte del equipo investigación de APB y los estudiantes.

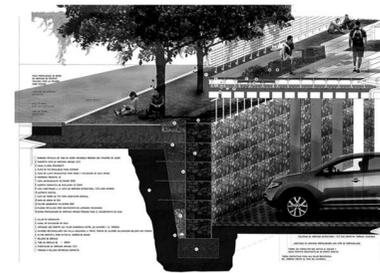
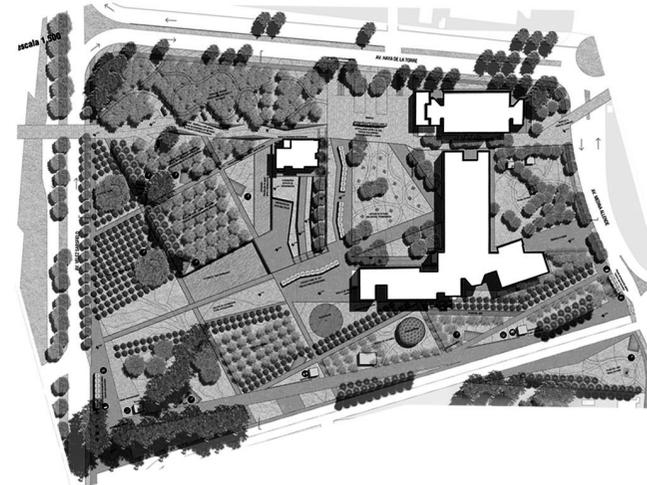
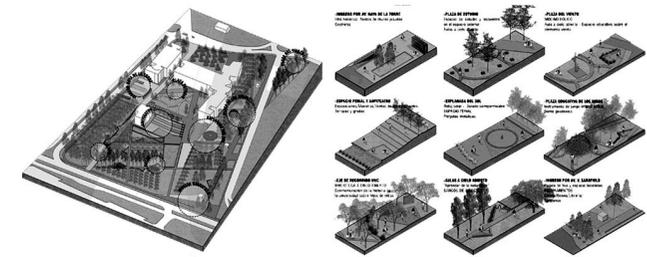
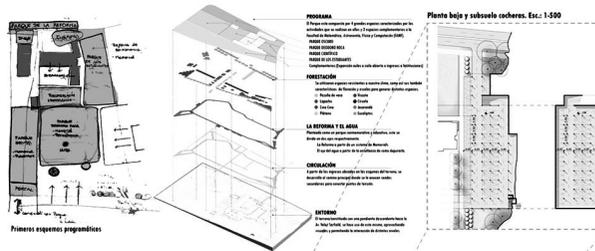
Su posterior aplicación y traslación a futuros ejercicios proyectuales, concibiendo a este último como el instrumento por excelencia de reflexión y acción crítica del arquitecto, potencialmente constituirán el motor de avances en el saber disciplinar, permitiendo valoraciones objetivas de las propuestas.

Aporte metodológico

En términos metodológicos los ensayos desarrollados incorporando variables e indicadores permitió un avance que facilitó el reconocimiento y la delimitación de las problemáticas, el aporte de índices, estadísticas, parámetros, gráficas y otras formas de síntesis cuantitativas y cualitativas con datos procesados y medibles.

Estos datos posibilitaron: clarificar, sintetizar y delimitar objetivamente las problemáticas del ecosistema y del paisaje en estudio; interpretar y contrastar resultados.

Permitieron también anticipar estados y tendencias futuras; evaluar situaciones respecto a metas propuestas y remediar potenciales desviaciones.



Proyecto Académico Situado - Alumnos APB Año 2018 - Ciudad Universitaria UNC

Su contrastación con los proyectos académicos permitió anticipar impactos y formular criterios para aplicar políticas de cambio y mejora en la gestión del sistema urbano que posibiliten anticiparse a los temas emergentes, generando propuestas proyectuales que planifiquen a futuro con criterios de sustentabilidad paisajística y ambiental.

Sinergia entre investigación y praxis docente

Se logró desarrollar un proceso de sinergia entre el acto investigativo y la práctica docente constituyendo a la proyectualidad arquitectónica paisajística en un espacio de estudio, interacción y reflexión permanente, en función del reconocimiento de los aportes ecológicos y paisajísticos que realiza el proyecto, tanto desde una dimensión objetiva, reconociendo los impactos de las acciones sobre el medio, como articulando dichas acciones con las preexistencias, cualidades espaciales, visuales y morfo genéticas del paisaje.

Formación de recursos humanos

Al estar el equipo de investigación conformado con los docentes, adscriptos egresados y adscriptos alumnos de la Cátedra arquitectura Paisajista B, se articula investigación y praxis académica, con el objetivo de formar docentes investigadores y adscriptos egresados y estudiantes con posturas creativas y crítico-reflexivas, instrumentados en la proyectualidad urbana sostenible y capaces de articular los contenidos disciplinares del grado con los conocimientos generados en el presente ejercicio.

Concientización de la importancia del ambiente y el paisaje en relación a las prácticas proyectuales (profesionales, investigativas, académicas).

Se transfirieron los conocimientos y resultados de la presente investigación en la comunidad académica y profesional, mediante presentaciones y publicaciones efectuadas en eventos científicos y de divulgación y congresos.

Conclusión

Desde la perspectiva metodológica de investigación-acción la incorporación de indicadores y variables contribuyó a sumar nuevos enfoques de resolución proyectual, situación que, si bien aportó complejidad al proceso de enseñanza aprendizaje, determinó reflexiones sustentadas en:

- Conocimiento profundo y conciencia del medio sobre el que se acciona, tanto recursos como valores naturales y culturales.
- Reconocimiento de las problemáticas urbanas del sector de intervención y de los nuevos usos y actividades que el habitante desarrolla en el espacio abierto público.

El presente proceso tiene por objetivo reforzar conceptos intrínsecos a la práctica disciplinar, como la incorporación de valores éticos comprometidos con los ecosistemas y la sociedad. Como así también la generación de espacios ecológicamente sustentables y sensibles a las necesidades comunitarias que consideren la equidad social y que sean culturalmente aceptables.

Bibliografía

Baigorri, G., et al. (2014). *Diseño de estrategias alternativas para la gestión sostenible del ambiente y el paisaje urbano. Caso de aplicación en ciudad de Córdoba. En Modelización del espacio urbano a partir de la aplicación de indicadores de sustentabilidad ambiental y paisajística (2014/2015)*. Córdoba, Argentina: SeCyT UNC.

Bettini, Virginio. 1998. *Elementos de ecología urbana*. Editorial Trotta. Valladolid. España.

Borja, J. y Muxí Z. (2000). *El Espacio Público. Ciudad y Ciudadanía*. Barcelona, España: Editorial Electa.

Budovski, V., Baigorri, G et al. (2012). *Diseño de estrategias alternativas para la gestión sostenible del ambiente y el paisaje urbano. Caso de aplicación en ciudad de Córdoba. En Los Indicadores de paisaje y su aporte a la planificación sustentable del espacio público urbano (2012/2013)*. Córdoba, Argentina: SeCyT UNC.

Busquets, J. and A. Cortina. 2009. *Gestión del paisaje. Manual de protección, gestión y ordenación del paisaje*. Edit. Ariel. Patrimonio. Barcelona, España

Carrieri S., M. J. Vespa, R. Codina, C. Kocsis, E. Manzano, M. Malecki Ferro, E. Videla, and S. Fioretti. 2009. *Propuesta de metodología para la calificación bio-ambiental de espacios verdes mediante coeficientes ecofisiológicos*. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XLI. N° 1. Año 2009. 1-21. URL: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3091/carrieriagrarias41-1 (18 /10/2010)

Di Marco, A., V. Budovski; A. Novello; M. Asís; A. Mas and W. Castellan. 2009. *El espacio público desde una visión paisajística. Bases de interpretación para Córdoba ciudad*. Edición Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina

Falcón, A. 2007. *Espacios verdes para una ciudad sostenible Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona. España

Fariña Tojo, J. 2007. *La ciudad y el medio natural*. Ediciones Akal S. A. Madrid. España. □ Lynch, Kevin. 1976. *La imagen de la ciudad*. Ediciones Infinito. Buenos Aires. Rep. Argentina. 4ª ed. Cast. □ Lynch, Kevin. 1992. *Administración del paisaje*. Grupo Edit. Norma. Colombia.

Gross, D. (1990). *Critical Synthesis on Urban Knowledge: Remembering and Forgetting in the Modern City*. *Social Epistemology*, vol. 4, núm. 1, pp. 3-22.

Halbwachs, M. (1925). Les cadres sociaux de la mémoire. París, Francia: Albin Michel Ed.

Halbwachs, M. (1950). La mémoire collective. París, Francia: Puf.

Matteucci, S. 2009. Ecología de Paisajes: concepto, historia, campos de aplicación URL: <http://www.gepama.com.ar>. (10 /11/2011). □ Naselli, César. 1992. De ciudades formas y paisajes. Arquna ediciones. Asunción. Paraguay.

Salvador Palomo, P. J. 2003. La planificación verde en las ciudades. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, España

Sarquis, J. (2014). El conocimiento en la Investigación Proyectual. En J. Sarquis (compilador). Itinerarios del proyecto. Experiencias Pedagógicas Creativas. Didáctica proyectual arquitectónica (pp. 329-346). Buenos Aires, Argentina: Centro Poiesis – SI – FADU – UBA, Editorial Nobuko. Serie Experiencias Pedagógicas Creativas.

Torre Jofré, M. 2009. Índice de Sostenibilidad Urbana: una propuesta para la ciudad compleja. Revista Digital Universitaria. 10 de julio 2009. Volumen 10 Número 7. URL:

<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art44/art44.htm> (5 /07/2010).

2

RUIDO URBANO Y SUSTENTABILIDAD FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DEL PAISAJE SONORO

Autor:
Arturo Maristany

Estructura básica del paisaje sonoro

El análisis y la evaluación de los paisajes sonoros en espacios públicos es un proceso que implica la interacción entre la acústica y componentes físicos y culturales del ambiente, tomando como referencia cuatro elementos básicos: el sonido, el espacio, las personas y la interacción entre los parámetros acústicos y otros elementos físicos del entorno (Zhang y Kang, 2007). Se pueden clasificar los sonidos como naturales, tecnológicos y humanos, basados en su origen, y como componentes del paisaje sonoro ambiental. Se reconocen como sonidos naturales aquellos originados en fuentes sonoras propias de la naturaleza como el canto de las aves, el ruido del viento en la vegetación o el agua en movimiento; los humanos, producidos por las personas en su actividad diaria de intercambio social, conversaciones, pasos, canto e incluso instrumentos musicales de carácter acústico y los tecnológicos derivados de la actividad y producción de artefactos y herramientas capaces de producir o amplificar los sonidos por encima de las capacidades habituales de las fuentes naturales o humanas, como el ruido producido por motores, amplificadores de audio, fabricas o sistemas de alarmas y bocinas.

Este ordenamiento básico fue propuesto originalmente por Schafer (1977) observando que los sonidos naturales y humanos, que tienden a ser los de mayor aceptación, han sido progresivamente relegados a segundo plano por los sonidos tecnológicos, propios de las grandes ciudades o agrupamiento urbanos. De acuerdo con Schafer las culturas primitivas estaban sometidas solo a un 5% de presencia de sonidos tecnológicos contra casi un 70% de sonidos de origen natural, en la actualidad la relación es exactamente la inversa, casi el 70% de los sonidos que dominan las escenas sonoras de nuestras ciudades son de origen tecnológico (figura 1).

Es interesante observar que posiblemente el periodo de mayor predominio de los sonidos humanos corresponde a la edad media y el renacimiento donde el intercambio social y comercial en las ciudades adquiere especial importancia. Es en la cultura posindustrial donde los sonidos producidos por el desarrollo de la técnica comienzan a dominar el paisaje sonoro urbano. Según esta clasificación, el estudio de los sonidos en el espacio sonoro, en base a paisaje. En la figura 2 se muestra una serie de sonidos típicos de los espacios abiertos basada en los relevamientos y encuestas realizadas por el grupo de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sheffield. Los sonidos naturales son más aceptados y valorados que los de origen tecnológico o culturales generados por la actividad humana. Es claro que los sonidos

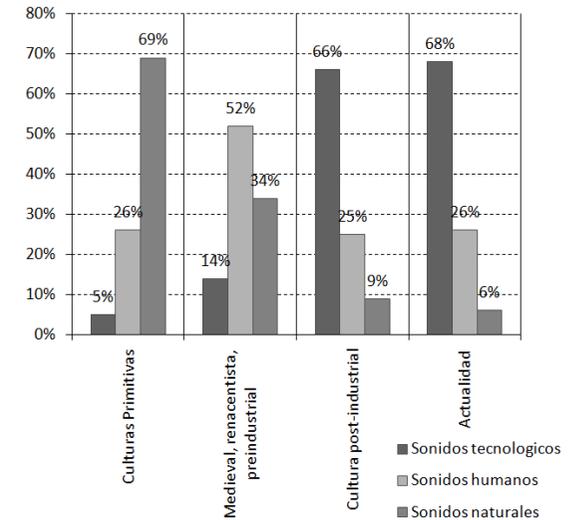


Figura 1. Evolución de los sonidos a lo largo de la historia (Adaptado de Schafer, 1977)



Figura 2. Enumeración de sonidos típicos presentes en espacios urbanos abiertos (s/ Universidad de Sheffield)

naturales son los de mayor aceptación, que los de origen tecnológico son los menos reconocidos como identificadores de un paisaje y que se evidencia la aceptación de la identidad aportada por las marcas sonoras.

En general, los entornos sonoros llamados de “alta fidelidad” dependen principalmente de la claridad del sonido, que se destaca como imagen en un fondo más difuso que no llega a enmascararlo. Por este motivo es que diversos autores (Schafer, 1977), (Hedfors, 2003), describen la imagen acústica de los espacios exteriores con el concepto de figura-fondo (figure-background). Schafer aplica la expresión “signal-keynote sound” para describir el concepto figura-fondo en los paisajes acústicos. El modelo figura fondo proviene de la Gestalt aplicado a los fenómenos visuales. Es posible interpretar el concepto desde el fenómeno acústico tomando como fondo: background, keynotes y la figura: sound signals y soundmark. El concepto de figura-fondo es una ley de la psicología de la forma formulada por Max Wertheimer de la Gestalt. Esta hipótesis se basa en la tendencia de la percepción a subdividir el campo perceptual en regiones. Las figuras son aquellas más estables, claras y precisas, mientras que el fondo está representado por el área más inestable y caótica. Este concepto parece ser aplicable a las condiciones de ruido urbano, transformando el concepto basado en objetos específicos de la percepción “visual” a la “sonora”. Según la ley, “cada superficie cerrada tiende a convertirse en una figura, y el resto servirá de fondo”. Wertheimer también estableció otras leyes importantes que determinan este fenómeno:

- La figura tiene calidad de cosa, el fondo calidad de sustancia;
- Toda superficie rodeada tiende a convertirse en figura, lo restante actuará como fondo;
- Nunca los límites pertenecen a ambos campos, siempre pertenecen a la figura;
- El fondo pasa por detrás de la figura;
- La figura es, por lo general, de menor tamaño. El fondo es más grande y simple;
- El color es más denso y compacto en la figura que en el fondo;
- El fondo puede percibirse como plano o espacio;
- La figura presenta mayor estabilidad, claridad, precisión; siempre está más cerca del observador;
- Todo lo relativo a la figura se recuerda mejor.

A partir de esta noción, Hedfors desarrolla un modelo conceptual que combina la expresión de figura y fondo con otras dos dimensiones: la intensidad y la claridad experimentadas. Si el sonido de la “figura” se percibe fuertemente en un “fondo” débil, se define el paisaje sonoro como claro y la situación opuesta como saturada. En ambos casos, el paisaje sonoro se percibe como potente en niveles de sonido altos, o contrariamente como suave. En un paisaje sonoro claro, una parte importante del sonido de la “figura” se puede identificar sobre el “fondo”, donde se identifican los componentes propios de la señal. En un paisaje saturado, los sonidos se mezclan y se confunden entre sí. Hedfors vincula estas variables en un esquema del tipo de la Figura 3. La gráfica es trazada bajo el criterio de un sistema cartesiano en donde los ejes X, Y convierten las dos dimensiones de análisis, claridad e intensidad, en dos variables de estudio.

El nivel sonoro continuo equivalente LAeq puede ser la variable asociada a la intensidad ya que está directamente relacionada con el nivel de sonido que se pone en juego. En el caso de la claridad la definición de la variable es más compleja. Como se ha descrito, esta dimensión está asociada a la capacidad que tiene la figura, sonido señal, para sobresalir por sobre el fondo, aspecto que se podría asociar a las variaciones temporales del sonido analizado, representado por la diferencia entre el nivel L10 y el L90. Bajo este principio se puede caracterizar el paisaje sonoro de acuerdo al esquema de la figura y a partir de valores acústicos objetivos.

Paralelamente el análisis subjetivo, basado en aspectos básicamente perceptuales es tomado en cuenta por Axelsson (2010), quien propone un esquema en base al cual un paisaje sonoro puede ser caótico, animado, aburrido o tranquilo asociando, a cada uno de ellos, dimensiones básicas en función de dos ejes semánticos definidos como el nivel de significancia (memorable – insignificante) y el nivel de agrado (agradable – desagradable). El gráfico de la figura 4 muestra esta clasificación perceptual, las situaciones transversales permiten clasificar el paisaje en relación a su complejidad perceptual, los campos a la derecha del gráfico se relacionan con una mayor calidad de la escena sonora, donde el balance en la complejidad de la escena y el nivel de agrado proporciona al usuario los estímulos necesarios para realizar una determinada acción con confianza y adecuación al ambiente. En psicología de la percepción esto se reconoce como enactivación (del neologismo inglés affordance).

Los indicadores subjetivos basados en la percepción de los usuarios adquieren, en la evaluación de un paisaje sonoro, tanta importancia como las variables acústicas objetivas que pueden ser medidas. Es así que, para investigar la calidad de un medioambiente acústico,

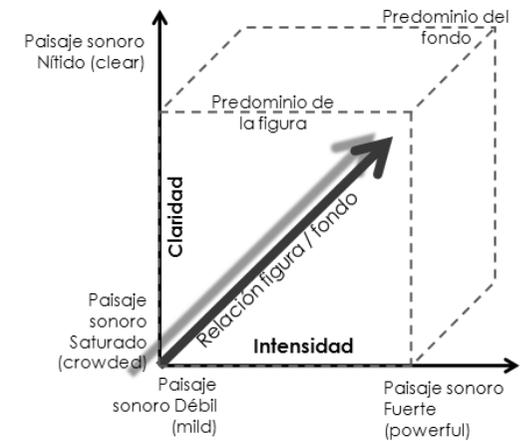


Figura 3. Figura – fondo y dimensiones asociadas. (Fuente: adaptado de [Hedfors, 2003])

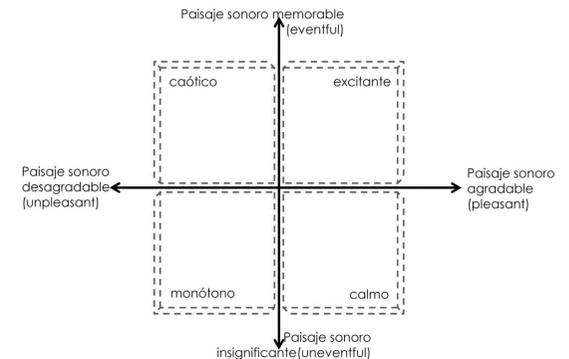


Figura 4. Clasificación perceptual del paisaje sonoro. Fuente: adaptado de Axelsson (2010)

existente en un espacio abierto urbano, o para diseñar un nuevo paisaje sonoro, es esencial utilizar un sistema o marco apropiado que incluya ambos tipos de indicadores.

En base a la evaluación del paisaje sonoro Zhang (2007) propone un sistema o marco, cuya descripción incluye 4 aspectos: las características de la fuente, como nivel de presión sonora, espectro, carácter temporal, localización y características sociales y psicológicas; los efectos acústicos del espacio; los aspectos socio demográficos del usuario y otros aspectos de las condiciones físicas y ambientales generales. En la tabla 1 se sintetizan los aspectos y las características asociadas para un análisis integral del paisaje sonoro.

Fuente sonora	Características energéticas	Nivel sonoro Espectro
	Características temporales	Duración variación
	Características espaciales	Localización relativa Movimiento
	Características socio-culturales	Significado Tipo de sonido
Espacio	Características acústicas	Patrones de propagación Patrones de absorción y reflexión Reverberación
Personas	Características socio-culturales	Cultura sonora – tipos de escucha
Ambiente	Características ambientales generales	Visuales, higrotérmicas, seguridad

Métodos de análisis del paisaje sonoro

La ISO 12913-1 define un marco conceptual general en donde se relacionan: las fuentes sonoras, el entorno acústico, la percepción del usuario y su interpretación y el contexto. La figura 5 reproduce el marco conceptual de la ISO 12913-1 destacando los conceptos relacionados: fuente sonora, ambiente acústico, sensaciones acústicas, su interpretación y respuestas.

La calidad del sonido no se puede determinar solamente por la medición del nivel de presión sonora LAeq. La impresión humana respecto al ruido, en contraste con un medidor del nivel sonoro, no es absoluta y se basa principalmente en el significado de los sonidos en el marco de la relación entre las fuentes que emiten el ruido y a las personas que se exponen a él. En los últimos años, se han llevado a cabo varios estudios para relacionar los resul

tados objetivos de las mediciones del ruido urbano y el confort acústico del espacio urbano exterior. Se basan principalmente en el estudio comparativo de los parámetros acústicos objetivos y encuestas a los usuarios del espacio que se analiza (Raimbault, 2005) (Yang, 2005) (De Coensel, 2006). En la aplicación de las encuestas son entrevistados un mínimo de veinte individuos por cada espacio urbano analizado para dar peso estadístico al estudio. Al mismo tiempo que la encuesta, se realizan grabaciones acústicas de pocos minutos, en diversos momentos específicos del día (mañana, mediodía y tarde) para cada localización. Los resultados de estos trabajos muestran que la evaluación subjetiva generalmente está estrechamente relacionada con el LAeq promedio, especialmente cuando es inferior a 73 dBA. Se demuestra también que esa relación varía en diversas ciudades y que pueden estar relacionadas con el ambiente acústico en los hogares de los usuarios. En los estudios también se observa que la evaluación del confort acústico individual es especialmente afectada por el tipo de fuente sonora no solo por la intensidad de la misma.

Para otros trabajos, el grado en que se escuchan los sonidos naturales y los sonidos tecnológicos en el paisaje sonoro, indica fuertemente su calidad y la molestia del ruido del tráfico. También se observa la relación entre el reconocimiento de la fuente de sonido y la calidad del paisaje sonoro. Otro método destinado a evaluar la calidad acústica de los paisajes sonoros en espacios urbanos al aire libre es la aplicación de estímulos en laboratorio y analizar la respuesta subjetiva de los usuarios. El trabajo desarrollado por Guillén y López Barrio está planteado según esta metodología (Guillen & López Barrios, 2007). Para los autores el estudio de la respuesta afectiva al sonido ha contribuido a obtener un grupo de factores que describen la calidad del paisaje sonoro urbano en base de criterios perceptivos.

Varios estudios exploraron la influencia de los factores sociales, demográficos y de comportamiento del usuario en la evaluación de las condiciones ambientales acústicas. Los resultados sugieren que los efectos de estos factores no son muy significativos en la evaluación del nivel sonoro. En comparación, la experiencia acústica a largo plazo (por ejemplo, el entorno acústico del hogar) puede afectar significativamente la evaluación del nivel de sonido en los espacios abiertos urbanos. Los estudios demuestran también que el ambiente acústico es uno de los factores principales que influyen el confort total en un espacio urbano público abierto. También se ha demostrado que las sensaciones visuales y auditivas aparecen siempre en el mismo nivel, sugiriendo interacciones entre los dos aspectos, que son importantes en la consideración del diseño (Yang, 2005). La percepción del paisaje está normalmente asociada a los aspectos visuales, con el subsiguiente predominio del sentido de la vista. Lo habitual es ver

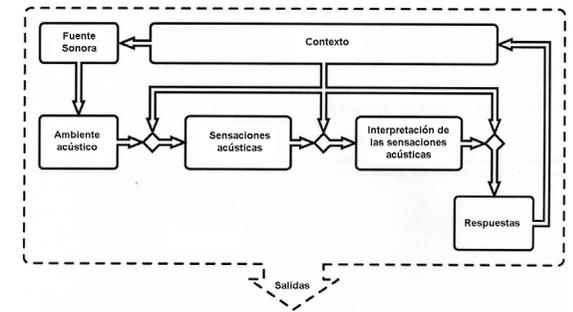


Figura 5. Marco conceptual para el análisis del paisaje sonoro según ISO 12913-1

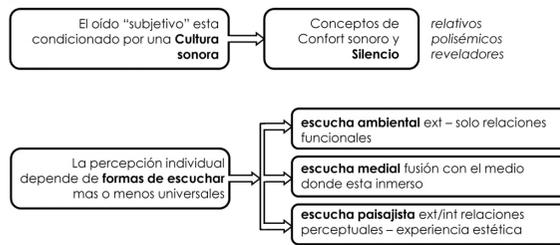


Figura 6. Elementos de la escucha del paisaje. Basado en Amphoux (1997)

el paisaje, pero en raras ocasiones se menciona la posibilidad de escucharlo, excepto que se realice un ejercicio especialmente destinado a ese efecto.

El análisis y la calidad subjetiva del paisaje sonoro dependen de esa capacidad de escucha íntimamente relacionada con la denominada cultura sonora. Amphoux (1997) considera que existen culturas sonoras locales que condicionan la producción y la representación colectiva del paisaje sonoro. La pertenencia a una determinada sociedad o grupo cultural influye de manera directa en la manera en cómo se perciben, comprenden y evalúan los sonidos del ambiente. En efecto, la calidad sonora de un paisaje dependerá de esta cultura sonora propia de una región, nación o sociedad particular. Mientras tanto también existen modos de escuchar universales que definen la percepción individual. En este sentido se puede decir que la percepción individual depende de formas de escuchar que son universales y que pueden tener progresivamente mayor participación o involucramiento en el proceso de percepción del paisaje sonoro.

Amphoux considera tres niveles posibles: la escucha ambiental, la escucha medial y la escucha paisajista. La escucha ambiental establece solo una relación funcional con el ambiente, la persona se ubica de manera externa, percibe o emite sonidos sin estar involucrado en la escena sonora que se produce, se orienta a definir la calidad acústica de la escena percibida. La escucha medial implica que la persona está inmersa en el medio donde se produce la escena sonora, en este caso no solo se define la calidad del sonido, también el confort acústico, relacionado con cualidades detectadas en función de referenciales subjetivos. Finalmente la escucha paisajista integra todos los aspectos de la percepción sonora, se relaciona con otros aspectos perceptuales definiendo una experiencia estética particular. Esta última forma de escucha, sintetizada en la figura 6, debería ser el objetivo de un proceso de mejora de las habilidades individuales y grupales frente a la percepción sonora de los paisajes y orientado a mejorar la calidad acústica de los mismos y su capacidad de dar identidad y pertenencia.

Análisis del paisaje sonoro mediante recorrido sonoro

El método del recorrido sonoro es una técnica adecuada y se usa cada vez más en el campo de la investigación subjetiva de los componentes del paisaje sonoro. La práctica fue desarrollada por Schafer en la Universidad Simon Fraser en Canadá en la década de 1960 como un método empírico para identificar los componentes y propiedades de un paisaje sonoro en diferentes lugares. Hildegard Westerkamp (1974) profundiza las posibilidades de la práctica del recorrido sonoro y desarrolla bases metodológicas para su uso como herramienta de análisis. El recorrido sonoro es una caminata o excursión destinada principalmente a escuchar el ambiente. Se destaca la importancia de esta mecánica para crear una relación más estrecha entre las personas y el medio ambiente en las ciudades donde el contacto con la naturaleza tiende a reducirse. Varios equipos de investigación posteriores han rescatado la técnica del recorrido sonoro como herramienta para el relevamiento de datos (Adams et al., 2008); (Nilsson et al., 2012); (Stasko-Manzur, 2015). Estas investigaciones han desarrollado y ampliado la técnica original de Schafer o Westerkamp, desde el primer concepto perceptual hasta un método integrado que permite la investigación sistemática y organizada de datos objetivos y subjetivos destinados a caracterizar paisajes sonoros. La técnica del recorrido sonoro es, en su esencia, coherente con la estructura dinámica y en permanente cambio de una escena sonora urbana.

Por lo tanto, este instrumento se puede utilizar en el diagnóstico donde los investigadores participan directamente, o en grupos, en encuestas de percepción, con el fin de obtener datos estadísticos. También es posible usar grabación y / o medición. De esta manera, se convierte en una herramienta de diagnóstico sonoro que permite múltiples diseños metodológicos, en su dinámica y por los indicadores analizados, adaptados a lo que el investigador pretende relevar del paisaje sonoro.

El diseño del recorrido sonoro debe definirse de antemano: uno o más cursos con posibles puntos donde se puedan distinguir las características de la escena sonora, así como los indicadores o parámetros a medir. Las Figuras 7 y 8 muestran dos recorridos sonoros, llevados a cabo en el marco de estudios de paisajes sonoros en el centro de Córdoba (Maristany, 2016). La primera imagen (Figura 7) ilustra claramente el área peatonal, plazoletas, la avenida y diferentes ubicaciones en la Plaza San Martín, con un total de ocho escenas sonoras. El segundo (figura 8), se corresponde con el conjunto Paseo Sobremonte y plazas Italia e Intendencia, con un total de once escenas diferentes desde el punto de vista acústico perceptual, pero similar en condiciones objetivas de ruido urbano. Para la instrumentación, en cada punto o escena,

se recomienda implementar las siguientes técnicas de recopilación de datos objetivos y subjetivos: aplicar cuestionarios, grabar eventos de sonido y medir niveles acústicos.

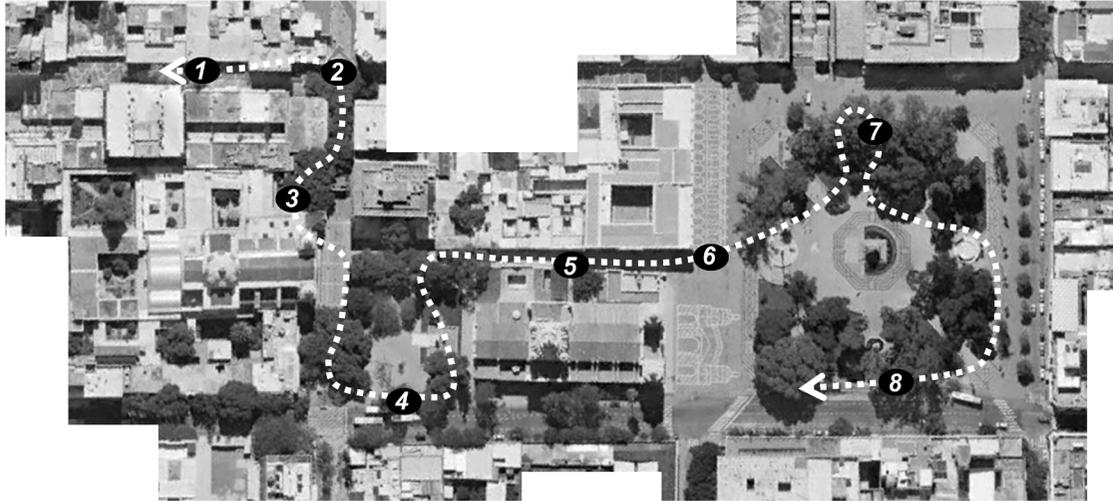


Figura 7. Recorrido sonoro (soundwalk) – Córdoba – Peatonal – Plaza San Martín. Fuente: elaboración propia. Foto aérea Google Earth

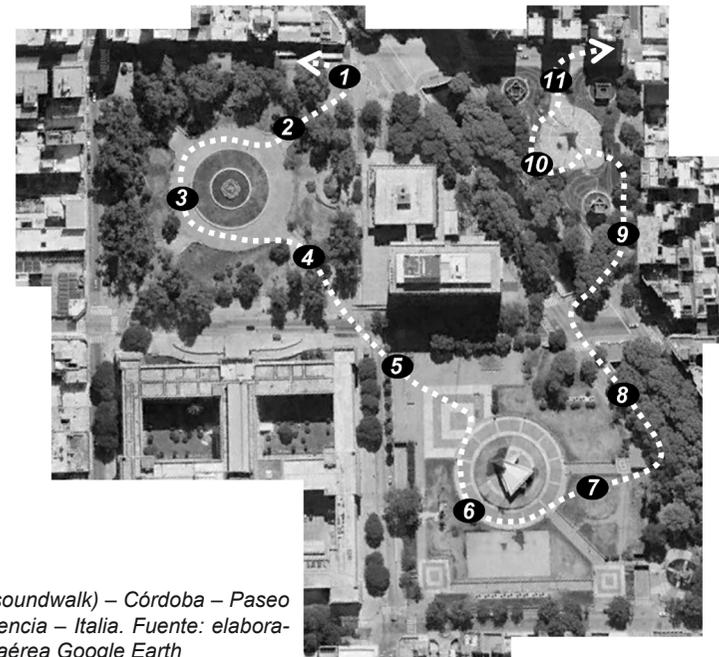


Figura 8. Recorrido sonoro (soundwalk) – Córdoba – Paseo Sobremonte – Plazas Intendencia – Italia. Fuente: elaboración propia. Foto aérea Google Earth

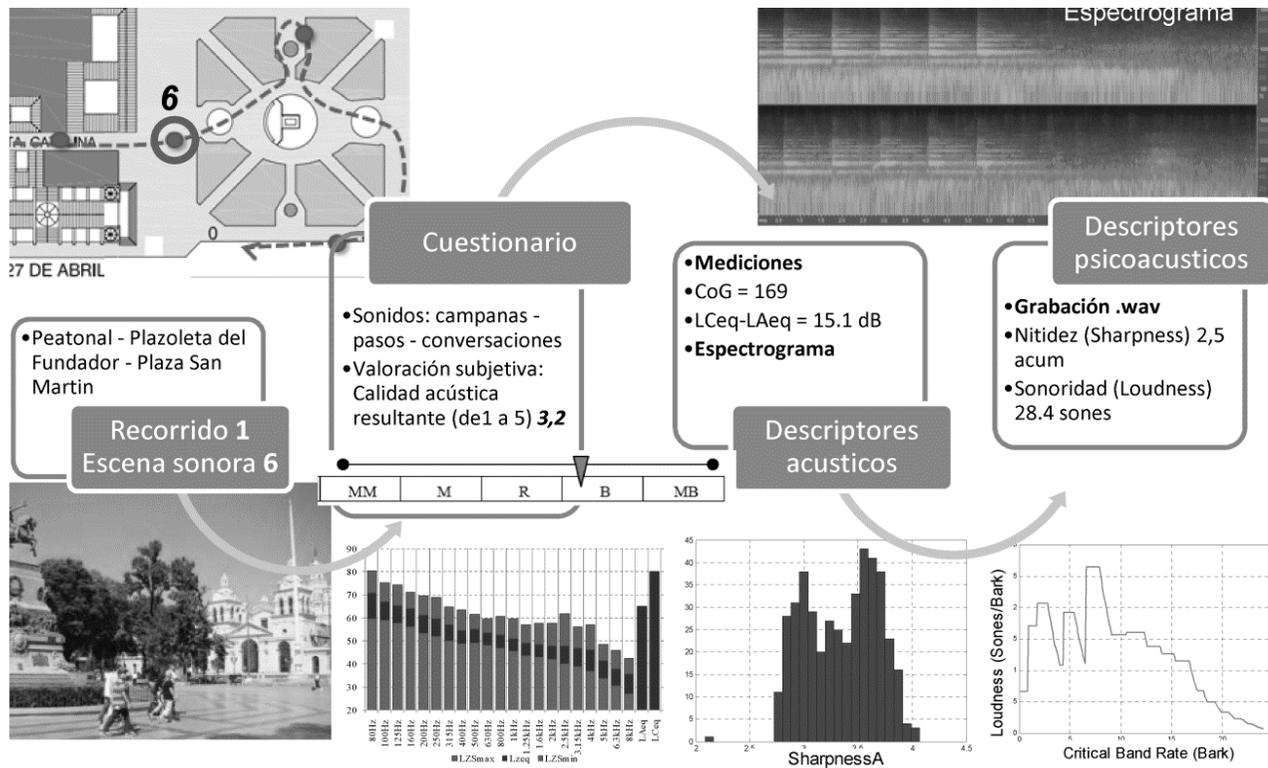


Figura 9. Síntesis de datos de una escena sonora – Interior Plaza San Martín (Maristany, 2016).

Los recorridos se llevaron a cabo con un grupo de referencia previamente capacitado. Las encuestas realizadas en cada punto se aplican tanto al grupo de referencia como a los usuarios potenciales. El uso de un cuestionario en cada punto permite la definición del nivel de confort de los usuarios de los espacios exteriores analizados. El cuestionario, que se basa en preguntas abiertas y cerradas, tiene como objetivo aspectos sociológicos generales y especiales relacionados con el espacio físico a evaluar y la caracterización de su paisaje sonoro. En este trabajo se utilizó el cuestionario general desarrollado en el proyecto europeo Silence (Semidor et al., 2007). Contiene una estructura con primeras preguntas que deben caracterizar el perfil sociológico del usuario, luego analizar la evaluación general del paisaje urbano y finalmente la caracterización de las fuentes sonoras y el grado de molestia (Maristany & Recuero, 2010). Se adoptó el uso de escalas semánticas de un máximo de cinco categorías para la caracteriza-

ción y se realizaron mediciones estadísticas para la evaluación objetiva de las escenas acústicas examinadas. Los parámetros medidos fueron el nivel sonoro continuo equivalente (LAeq) en bandas de la tercera octava de 12.5 Hz a 20 kHz. En general, se observaron las pautas de la norma ISO 1996 para la descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Simultáneamente a las mediciones de parámetros físicos y encuestas subjetivas, se realizó una grabación de cada escena de sonido para su posterior análisis, a partir de los cuales se calcularon los parámetros psicofísicos (volumen y nitidez) y los espectrogramas. La figura 9 resume los aspectos examinados y los indicadores resultantes de uno de los puntos analizados de la ruta para una escena sonora.

La técnica utilizada en el trabajo de campo en el área central de la ciudad de Córdoba ha permitido reconocer la existencia de espacios o escenas urbanas en las que, a pesar de condiciones acústicas objetivas idénticas, la reacción desde el punto de vista del confort acústico es diferente. Los espacios urbanos abiertos utilizados para el estudio difieren significativamente en aspectos tales como fuentes de sonido, características espaciales y de configuración, tipos de usuarios y condiciones ambientales generales. Los estudios de caso seleccionados permitieron la investigación de datos objetivos y la reacción subjetiva del usuario, que fue esencial para la búsqueda de indicadores adecuados para determinar el potencial semántico de los sonidos investigados y su interrelación con los componentes del paisaje urbano.

Bibliografía

Adams M., Bruce N., Davies W., Cain R., Jennings P., Carlyle A., Cusack P., Hume K., Plack C. (2008) *Soundwalking as methodology for understanding soundscapes. Proceedings of the Institute of Acoustics University of Salford, Salford, UK. Vol. 30. 2008Pt.2.*

Amphoux, P. (1997) *Paysage sonore urbain: Introduction aux ecoutes de la ville. HAL Id: hal-01563926. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01563926>.*

Axelsson, Östen, Nilsson, Mats, y Berglund, Birgitta (2010). *A principal components model of soundscape perception, J Journal of Acoustic Society of America. 128 (5), November 2010.*

De Coensel, Bert y Botteldooren, Dick. (2006) *The Quiet Rural Soundscape and How to Characterize it, Acta Acustica United with Acustica, Vol. 92, 2006, pp. 887 – 897.*

Guillén, José Domingo y López Barrio, Isabel (2007) *The soundscape experience. 19th International Congress on Acoustics. Madrid, sep. 2007.*

Hedfors, Per (2003) *Site Soundscapes Landscape architecture in the light of sound. Doctoral thesis. Department of Landscape Planning. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. 2003*

Maristany A. (2016). *Paisaje sonoro urbano “Soundwalk” como método de análisis integral. Revista Pensum. FAUD. UNC. Vol. 2 Núm. 2 (2016)*

Maristany A. y Recuero López M. (2010) *Relationship between objective and subjective indicators in urban soundscape analysis. The case of Córdoba – Argentina. Internoise 2010. Lisbon, Portugal.*

Nilsson. M. E. Jeon, J. Y. Rådsten-Ekman, M. Axelsson, Ö. (2012) *A soundwalk study on the relationship between soundscape and overall quality of urban outdoor places. Proceedings Acoustics 2012. Hong Kong.*

Raimbault, Manon y Dubois, Daniele (2005) *Urban soundscapes: Experiences and knowledge. Cities, Vol. 22, No. 5, 2005, p. 339–350.*

Stasko -Mazur K. (2015) *Soundwalk as a multifaceted practice. Argument: Biannual Philosophical Journal. vol. 5 (2/2015) pp. 439–455.*

Schafer, Raymond Murray (1997) The tuning of the world. Random House. 1977

Semidor, C.; Barlet, A. y Chartier, F. (2007) Soundscape approach as a tool for urban design. Second part: Frequentation, use and sound environment perception in four cities in Europe: Barcelona, Bristol, Brussels and Genoa, European Commission DG Research. 2007.

Westerkamp, Hidelgard (2001) Soundwalking. Sound Heritage, Volume III Number 4, 1974. Victoria B.C. Revised 2001.

Yang, W y Kang (2005) Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. Applied Acoustics 66, 2005, pp 211-229.

Zhang, Mei y Kang, Jian (2007) Towards the evaluation, description, and creation of soundscapes in urban open spaces. Environment and Planning, vol 34, 2007, pp 68 - 86.

“ SOBRE EL ACONDICIONAMIENTO SUSTENTABLE ”

3

LA ENVOLVENTE ADAPTATIVA PASIVA
COMO RECURSO DE LA ARQUITECTURA
SUSTENTABLE

Autores:

Arturo Maristany
Leandra Abadía
Claudia Branco

Introducción

La envolvente arquitectónica tiene como una de sus principales funciones la regulación de los flujos energéticos, actuando como una interfaz entre el exterior y el interior. Este proceso, especie de transducción de flujos de energía en permanente cambio y fluctuación, es complejo, variable en el tiempo y responsable de gran parte de las condiciones interiores de confort, de la eficiencia energética del edificio y por tanto del acondicionamiento térmico, acústico y lumínico del mismo. La envolvente del edificio se diseña con relación a varios condicionantes: ambientales, tecnológicos, socio culturales, funcionales, económicos y formales (Oral et al, 2004). Los factores ambientales están representados por parámetros físicos energéticos. Los agentes energéticos principales que caracterizan un ambiente determinado, que inciden sobre la envolvente edilicia e influyen sobre el confort son: el calor, que afecta el control de la temperatura del aire; la luz, que incide en la vista e intimidad visual óptima y el sonido, que influye en la intimidad acústica.

La resolución de las actuales envolventes, adolecen muchas veces de la evaluación y del estudio previo necesario en función del destino para el cual están construidas. Las envolventes modifican los gradientes paramétricos (Varini, 2009) de los campos ambientales que delimitan, definiendo condiciones interiores o exteriores de confort o disconfort de acuerdo al nivel de adecuación a los parámetros ambientales.

Es interesante observar que mientras las condiciones ambientales de cualquier sitio son variables, las envolventes convencionales son más o menos estáticas, o al menos su potencial de variabilidad está muy lejos de los rangos de variación diaria y estacional que los parámetros energéticos poseen, como la temperatura, la humedad, la luz y el sonido entre otros. Los sistemas auxiliares de acondicionamiento están obligados a balancear estas oscilaciones energéticas producto de un diseño no adaptado climáticamente, principalmente en edificios donde se pretende mantener condiciones interiores más o menos estables de confort. Los criterios de confort adaptativo permitirían pensar también que la envolvente puede adaptarse a las condiciones ambientales variables.

Relacionando el problema de las envolventes y el confort, son varios los autores que se refieren a la importancia de su análisis integrado, teniendo en cuenta dos o más factores físicos ambientales: térmicos, visuales y acústicos. (Ünver, 2004), (Monteiro da Silva, 2010), (Oral, 2004). En estos trabajos el objetivo principal es la búsqueda de criterios de diseño que permitan la construcción de una envolvente con un rendimiento óptimo en relación a las condiciones

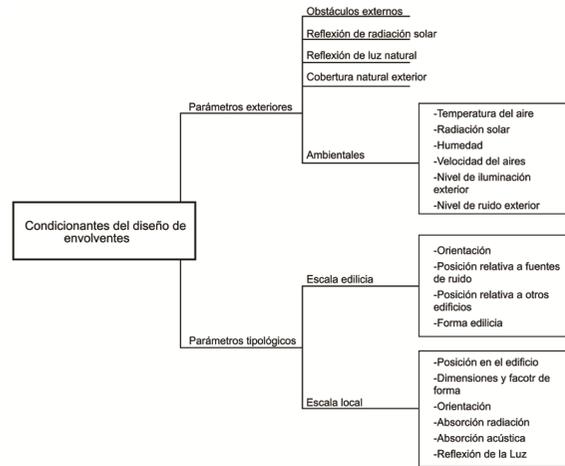


Figura 1. Condicionantes generales del diseño de envolventes (adaptado de Oral et al, 2004)

de confort térmico, visual y acústico, teniendo en cuenta propiedades referidas a su capacidad de adaptación a las condiciones ambientales variables.

De la envolvente arquitectónica, como componente más expuesto, dependen la eficiencia energética del edificio en su conjunto y las condiciones interiores de confort. Es así que la búsqueda de alternativas de sistemas constructivos de envolventes arquitectónicas adaptativas, basadas en las condiciones tecnológicas locales y materiales disponibles en el medio; en las preexistencias ambientales o micro ambientales de la región y los requerimientos de confort propios de la sociedad y cultural local, permiten aumentar los niveles de eficiencia energética en los edificios y la calidad en el acondicionamiento de los mismos.

Alcanzar el conocimiento necesario para considerar la relación entre la conformación de la envolvente, las condiciones ambientales exteriores y las condiciones de confort interior es un factor fundamental en el logro de edificios sustentables de bajo impacto ambiental. Al reducir la demanda de energía proporcionan ventajas, tanto ambientales, en relación al confort, como económicas, en relación al consumo y los costos de las técnicas de construcción.

El diseño de la envolvente está condicionado por múltiples parámetros ambientales y constructivos, o tipológicos, propios del edificio. A nivel exterior a los parámetros ambientales habituales se le suman algunos de carácter local, como niveles de ruido, o de implantación como los obstáculos externos y el albedo de las superficies circundantes. En la figura 1 se muestran las condiciones generales de diseño de envolventes. Desde el punto de vista tipológico también se reconocen parámetros que condicionan el diseño de la envolvente, donde orientación, forma, posición relativa y terminaciones superficiales de los locales tienen una influencia decisiva.

El confort y los procesos adaptativos

El análisis integral de la calidad ambiental interior (IEQ – Indoor Environmental Quality) es determinante del confort de los habitantes de un edificio, abarcando principalmente cuatro aspectos: calidad del aire, confort higrotérmico, acústico y lumínico. En general se propone que los estándares internacionales sean adaptados o validados a las condiciones locales y culturales, que influyen en los criterios de valoración del confort.

La calidad del aire interior se relaciona por lo general con los niveles y la eficiencia de la ventilación. El indicador usual para este aspecto es la concentración de dióxido de carbono (CO₂) que debería mantenerse por debajo de los 1000 ppm (partes por millón) en relación al ambiente exterior, de acuerdo a algunas referencias normativas internacionales (Ashrae 62, EN 15251)¹.

Los estudios realizados Fanger en los años '70 establecen los criterios de confort higrotérmico basado en el concepto de balance térmico del cuerpo, esto es el equilibrio entre el flujo de calor desde el cuerpo hacia un ambiente dado y el flujo de calor necesario para neutralizarlo. La condición de confort se alcanza cuando se logra el equilibrio sin experimentar estrés térmico, siempre para una determinada actividad. Las variables que intervienen en el estado de confort, según el método estático de Fanger, son personales como: la vestimenta o nivel de arropamiento (clo) y la actividad o producción de calor metabólico (met); y ambientales como la temperatura del aire (°C), la temperatura radiante (°C), la humedad (%) y la velocidad del aire (m/s).

Posteriormente Dear (1997) y Nicol (2002) comienzan a evaluar la capacidad de adaptación del usuario a las condiciones ambientales exteriores, llegando a una conclusión fundamental según la cual la temperatura de neutralidad térmica (T_n), tomada como referencia de confort, no es constante y puede variar en concordancia con la temperatura exterior, principalmente cuando los edificios son acondicionados de manera natural. Este aporte deriva en el concepto de confort adaptativo (Arrieta, Maristany, 2018).

La percepción subjetiva del confort se analiza mediante el concepto de sensación térmica, que relaciona las reacciones subjetivas de un grupo de individuos con las variables ambientales o personales. En los métodos de Fanger se establece una escala de sensación térmica de siete puntos desde el muy frío (nivel -3) al muy caliente (nivel +3). En la figura 2 se

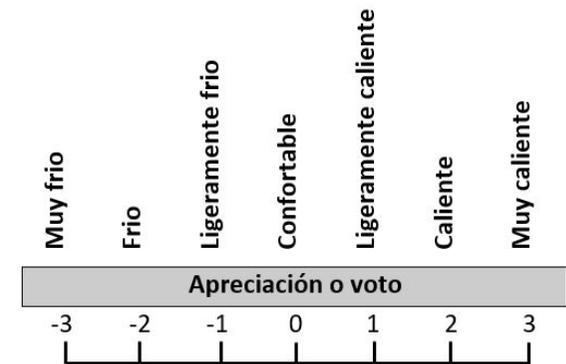


Figura 2. Escala de sensación térmica de Fanger

¹ Según Ashrae 62 max. 1000 ppm o 650 ppm sobre CO₂ exterior. Según EN 15251, 2007 – nivel III 800 ppm sobre CO₂ exterior.

muestra la escala de sensación térmica de Fanger.

Del estudio estadístico de la sensación térmica de un grupo de usuarios, relevado mediante encuestas de aceptabilidad, se extraen indicadores como el voto medio previsto de confort (PMV-PPD) y el porcentaje previsto de personas insatisfechas (PPD). Habiendo quedado demostrado que no se puede establecer un valor constante o de referencia fija estandarizado para el confort térmico, por el contrario, es necesario trabajar con enfoques dinámicos, basado en la capacidad de adaptación, indicando rangos de confort según la aceptabilidad de los usuarios, dando así lugar al concepto de confort adaptativo. Diversas normas internacionales han adoptado estos criterios de confort. La ISO 7730 incluye el análisis por el modelo PMV_PPD y el confort adaptativo es empleado por la ASHRAE 55 y la norma europea EN 15251 para definir la temperatura de confort (T_{co}) en edificios naturalmente ventilados. En la Tabla N°1 se muestran los niveles de referencia de temperatura de confort definidos por ASHRAE 55 Y EN 15251.

Confort higrotérmico		
Norma	Parámetro	Niveles de referencia
ASHRAE 55	PPD-PMV	$T_{co} = 0,31 \times T_{ref} + 17,8 \quad [^{\circ}C]$ <p><i>T_{ref}</i> = temperatura prevalente del aire exterior de 7 a 30 días después del día en cuestión.</p>
EN 15251	PPD	$T_{co} = 0,33 \times T_{rm7} + 18,8 \quad [^{\circ}C]$ <p><i>T_{rm7}</i> = media ponderada de la temperatura diaria al aire libre de los siete días anteriores.</p>

Tabla N°1 Niveles de referencia de temperatura de confort en edificios ventilados (T_{co}).ASHRAE- EN 15251.

El confort visual está determinado de manera directa con el rendimiento de los sistemas de iluminación, con tres indicadores principales: el nivel de iluminación (Lux), la uniformidad (E_{max}/E_{med}) y el deslumbramiento ($Cd/m^2 - Nit$). Dentro del concepto de confort adaptativo la aplicación y optimización de sistemas de iluminación natural son fundamentales. La iluminación natural incluye el concepto de variabilidad y adaptación a las condiciones exteriores, en estos casos el factor de valoración principal es el factor de luz día o componente de luz diurna (CLD) que establece la relación entre la iluminación interior sobre un plano y la que tendría si el mismo plano estuviese al exterior. Según sea la normativa utilizada la CLD mí-

nima es del orden del 2%.

Las molestias por ruido están relacionadas principalmente con las dificultades para la realización de tareas, problemas de concentración, insomnio o problemas en el sistema auditivo, como corrimientos temporales del umbral auditivo o pérdida de audición. Todos los sonidos que pueden perturbar las actividades diarias son considerados como ruidos. Para la OMS los límites máximos deseables para ambientes en general están en el orden de los 50 a 60 dB, mientras que para consolidar el sueño recomienda un límite de 35 dB.

Los estudios acústicos realizados en esta temática proponen métodos de análisis, necesarios para la evaluación de la adaptación de las envolventes frente al ruido, como los referidos a la capacidad de absorción de fachadas verdes (Jang et al., 2015), (Ismail, 2013), (Azkorra et al., 2015) o absorción acústica en envolventes exteriores (Haugen, 2013), (ISO/FDIS 13472-1). También se demuestra la influencia de las mediciones exteriores de los niveles de sonido, provenientes del entorno urbano, que suministran a los diseñadores una visión para proyectar envolventes que responde a su entorno acústico y mejora la calidad acústica interior (Batugnbakal et al., 2015).

La envolvente adaptativa

El concepto de envolvente adaptativa no es nuevo, al menos en su esencia, Le Corbusier propone el muro neutralizante (mur neutralisant), tal como se muestra en la figura 3, como sistema de control térmico basado en una doble envolvente con flujo de aire frío o caliente en su interior. Pasaron muchos años hasta que el concepto se materializó de manera alternativa en las envolventes ventiladas.

Los desarrollos tecnológicos de fines del siglo XX y principios del XXI, han dado lugar a múltiples ejemplos de adaptación de la envolvente a las condiciones exteriores, en estos casos mediante automatismos o sistemas regulados artificialmente. Por caso, la fachada del Instituto del Mundo Árabe en París de Jean Nouvel (figura 4), es un ejemplo icónico de los inicios de esta nueva etapa, desarrollado en 1987, donde un complejo sistema mecánico automatizado mediante sensores externos adapta la fachada a los requerimientos de confort interior, en este caso asoleamiento y luz natural.

El problema del control de la radiación solar en cerramientos es simultáneo a la aparición de las grandes superficies vidriadas con las estructuras en acero de mediados del siglo XIX.

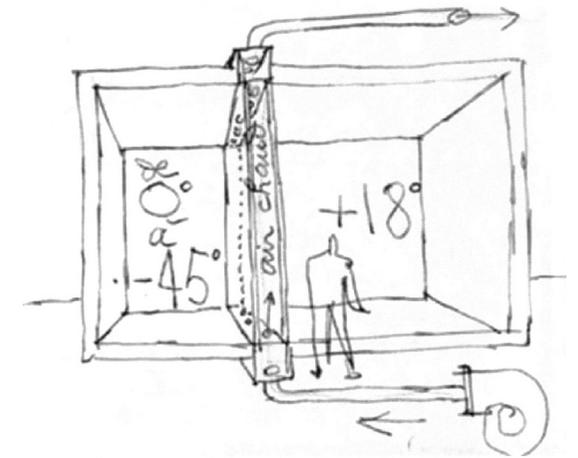


Figura 3. Muro neutralizante - Fondation de l'Armee du Salut, Paris, 1930 / Le Corbusier
[Fuente: Charles Édouard Jeanneret-Gris. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Description_of_the_mur.png. CC-by4.0]

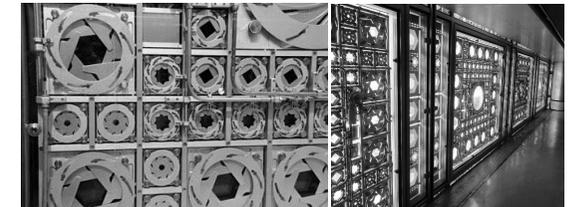


Figura 4. Fachada - Instituto del Mundo Árabe, Paris, 1987 / J. Nouvel
[foto 1 de Serge Melki, 2009. <https://www.flickr.com/photos/sergemelki/3389136542>. CC-by-2.0]
[foto 2 de Rictor Norton & David Allen, 2016. <https://flickr.com/photos/24065742@N00/29461400112>. CC-by-2.0]

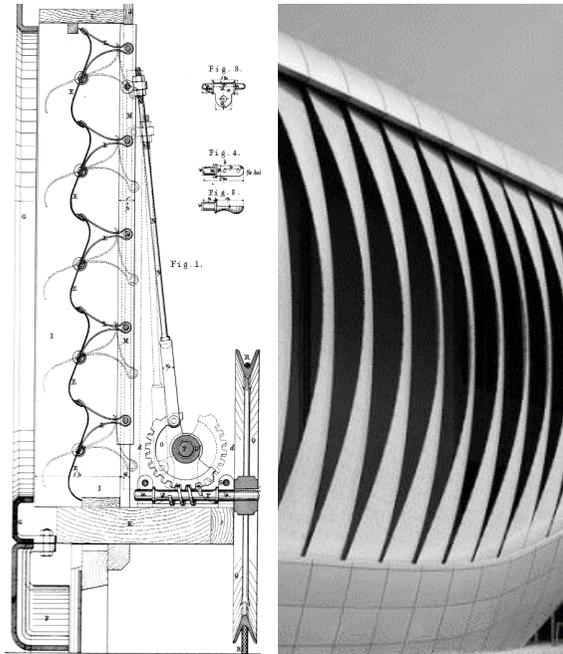


Figura 5. Detalle protección - Crystal Palace, Londres, 1851 / J. Paxton [Fuente: Schoenefeldt, 2008]

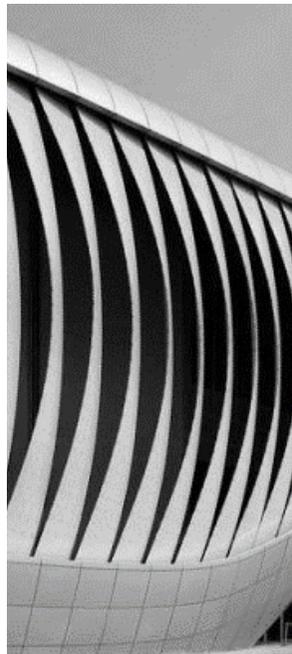


Figura 6. Detalle - Ocean Thematic Pavilion, 2012 / SOMA [Foto de SOMA Architecture, en <https://architizer.com/projects/one-ocean/>]

El Crystal Palace de Joseph Paxton, 1851, muestra uno de los primeros desarrollos de dispositivos mecánicos para adaptar la envolvente para el control de la radiación solar (figura 5). Mas de 150 años después, en 2012, para otro pabellón de exposiciones, el Ocean Thematic

Pavilion (figura 6) de la Exposición Universal de Korea se desarrolla un sistema de protección de lamas, inspirado en el curvado de las hojas de la flor del paraíso, que se doblan gracias a la fuerza inducida por los cambios de temperatura, basado en el comportamiento termosensible del material.

Cualquiera sea el criterio tecnológico, basado en sistemas manuales, mecánicos, termodinámicos, o por el uso de materiales sensibles o adaptados energéticamente, las fachadas adaptables deben proporcionar una respuesta adecuada a los cambios en los requerimientos internos y en las condiciones externas destinadas a asegurar o mejorar los comportamientos funcionales de las envolventes en términos de calor, aire y flujo de vapor de agua, lluvia, radiación solar, ruido, fuego, fuerza y estabilidad y estética. Por lo tanto, las fachadas adaptables multifuncionales deberían poder responder de manera repetida y reversible a lo largo del tiempo a los cambios en los requisitos de rendimiento y a las cambiantes condiciones de contorno (Aelenei et al, 2016). En otras palabras, las fachadas adaptables podrían proporcionar aislamiento y masa térmica controlable, intercambio de calor radiante, ventilación, recolección de energía, iluminación natural, protección solar o control de la humedad.

Adaptabilidad es dinamismo, la envolvente debe poder responder de manera dinámica a las variaciones de los parámetros ambientales de las condiciones climáticas. Una envolvente adaptativa es aquella que puede modificar sus propiedades en base a cambios de las condiciones ambientales exteriores y/o de las demandas interiores de confort. Estos cambios pueden ser manuales o automáticos. Destinados a cinco objetivos básicos: (1) Permitir el ingreso de luz natural, (2) Detener ganancia solar indeseada, (3) Frenar la transferencia de calor, (4) Frenar el ingreso de aire y humedad y (5) Permitir la ventilación natural.

Las envolventes adaptativas pueden ser analizadas desde dos aspectos generales su configuración y/o su función en el proceso de adaptación. Desde el punto de vista de la configuración la envolvente tiene: una forma básica, por lo general basada en la cantidad y tipo de capas que la conforman; un material que puede tener una acción responsiva frente a los agentes ambientales y la capacidad de sufrir una transformación geométrica asociada a la adaptación, como se muestra en la figura 7. Esta configuración base y sus potenciales

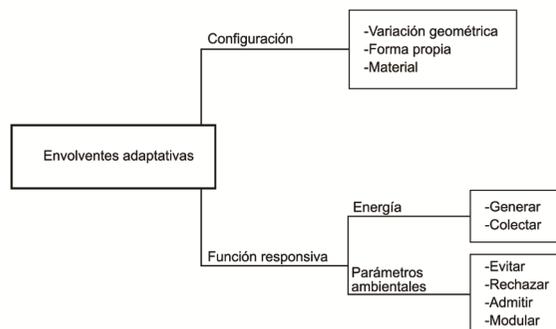


Figura 7. Características de las envolventes adaptativas

transformaciones están asociadas a una función determinada, por lo general, generación de energía o control de agentes ambientales.

La definición de envolvente adaptativa abarca una serie de conceptos y tipos de desarrollo reciente, como envolventes variables, adaptadas, dinámicas, inteligentes o cinéticas. En cualquier caso, se trata de sistemas multifuncionales, adaptativos, donde la envolvente es capaz de “cambiar sus funciones, características o comportamiento a lo largo del tiempo, en respuesta a requisitos de rendimiento transitorios y condiciones de contorno, con el objetivo de mejorar el rendimiento general del edificio” (Aelenei et al, 2016).

Un tipo de envolvente adaptativa son las fachadas cinéticas responsivas (responsive kinetic facades). El proceso de adaptación de estos sistemas responsivos se basa en movimientos, o funciones dinámicas, que modifican la estructura física de la envolvente sin afectar las condiciones generales de estabilidad. Los movimientos de estos componentes implican transformaciones geométricas como desplazamiento, plegado, translación o rotación, cuyos ejemplos se muestran en las figuras 8 y 9, definidas mediante dispositivos de alta tecnología: sensores de variables ambientales exteriores e interiores, unidades lógicas de procesamiento y actuadores mecánicos (Waseef, El-Mowafy, 2017).

Son múltiples las tecnologías, materiales y sistemas que se utilizan para el desarrollo de fachadas o envolventes adaptativas, desde simples recursos de automatización hasta dispositivos basados en el comportamiento diferenciado de los materiales frente a los requerimientos externos, o a los diferentes agentes ambientales, como el uso de materiales de cambio de fase (PCM - phase change materials), que permiten acumular y regular la transferencia de calor, y vidrios inteligentes (smart glass), que modulan la transmitancia en el espectro solar visible y total, adaptando a niveles de iluminación recomendados y control de carga térmica al local. En la figura 10 se muestra el prototipo para HIL building, ETH, Zürich como ejemplo de sistema de manejo de una fachada cinética.



Figura 8. Fachada cinética - Kiefer technic Showroom, Austria, 2007 / E. Giselbrecht+Partner [foto: Paul Ott, en <https://architizer.com/projects/showroom-kiefertechnic-architecture/>]

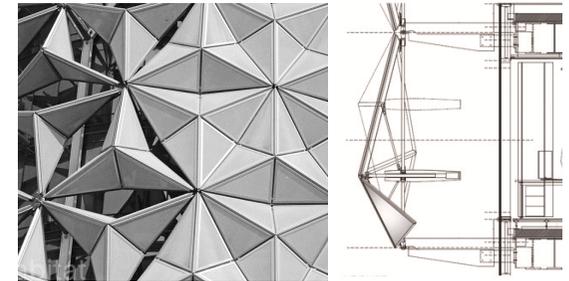


Figura 9. Fachada cinética - Al Bahr Towers, Abu Dhabi, 2012 / Aedas [foto de Inhabitat, 2014. <https://www.flickr.com/photos/inhabitat/>. CC-by-NC-ND 2.0]

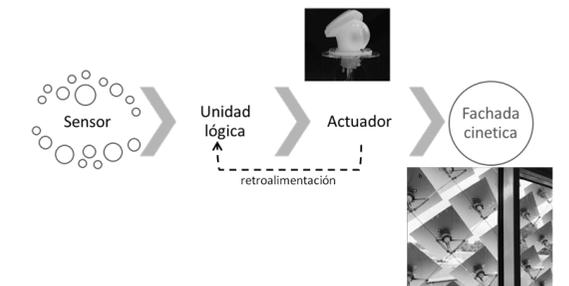


Figura 10. Sistema de manejo de una fachada cinética. Ejemplo: prototipo para HIL building, ETH, Zürich (Nagy et al, 2015)

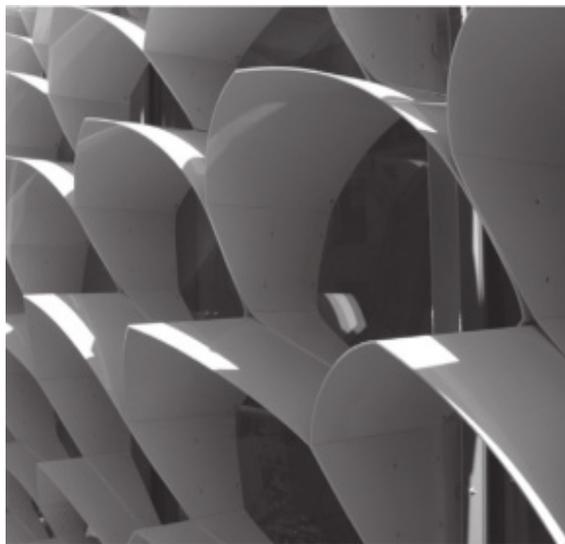


Figura 11. Sistema de protección solar por diseño paramétrico – Laboratorios de ensayos térmicos Universidad de Texas. Fuente: (Beaman & Bader, 2010)

Hacia el concepto de envolventes adaptativas pasivas

Es posible una reorientación del concepto de fachadas adaptativas, y pensar que no solo pueden estar relacionadas a sistemas complejos de automatización y de uso de dispositivos de alta tecnología, artificiales o naturales, destinados a la adaptación de la envolvente en función de la respuesta de los materiales a los cambios en los parámetros ambientales. También se puede pensar en la fachada adaptativa pasiva (Mazzucchelli et al, 2018), donde el proceso de adaptación está relacionado con la regulación inteligente de los flujos de energía, por medios no necesariamente automáticos, en la cual la forma, el material y los flujos termodinámicos son los encargados de producir las adaptaciones necesarias de la envolvente para regular los intercambios energéticos.

Se pueden considerar como envolventes adaptativas pasivas todos aquellos cerramientos que se adaptan a las condiciones del exterior y de confort interior con baja demanda de energía, como es el caso de las doble envolventes o trans ventiladas, los muros acumuladores, los sistemas dinámicos de protección solar, los sistemas de redireccionamiento de la luz natural, los dispositivos absorbentes acústicos combinados con las protecciones solares, entre muchas otras alternativas.

La exploración de nuevos enfoques de sistemas de protección solar, basado en diseño paramétrico, permite la adaptación de envolventes a condiciones particulares de asoleamiento optimizando el rendimiento térmico y de iluminación. En la figura 11 se muestra el ensayo de un sistema de protección adaptativo desarrollado bajo este principio conjuntamente entre las universidades de Texas y Munich (Beaman, Bader, 2010).

Consistente en una estructura de sombreado en polipropileno resuelta mediante un modelo paramétrico y fresada mediante CNC. Cada componente se “creó a través de un proceso algorítmico de subdividir, orientar, proyectar y cortar superficies bidimensionales con entidades tridimensionales”. La forma del componente está determinada por datos solares específicos para cualquier sitio dado, contexto volumétrico y condiciones climatológicas.

Los muros dobles o trans ventilados son un claro ejemplo de una envolvente adaptativa pasiva basada en el comportamiento termodinámico del sistema. La envolvente trans ventilada es una alternativa posible tanto para la rehabilitación de edificios como para construcciones nuevas. Es una opción de adaptación destinada al ahorro energético y la eficiencia de la envolvente en relación a la adaptabilidad climática y a la disponibilidad de los materiales

locales. El sistema aumenta la capacidad de control de la radiación solar y los vientos, contribuyendo a disminuir las pérdidas de calor en invierno y las ganancias en verano.

Se puede verificar (Maristany et al, 2016) la importancia que tendría el uso de la fachada ventilada como recurso para el diseño y rehabilitación de envolventes exteriores en climas templados, donde la condición de verano tiene tanta importancia como la de invierno en relación al control térmico, dando resultados de eficiencia energética muy superiores al logrado solo con aislamiento resistivo. Los resultados indicados en la gráfica de la figura 12 muestran los importantes porcentajes de eficiencia energética de la envolvente trans ventilada, principalmente para la condición de verano.

La resistencia térmica del conjunto puede variar al modificar las condiciones de asoleamiento de la capa externa y la velocidad del aire dentro de la cámara ventilada, mecanismos que permiten la adaptación del sistema a diferentes condiciones ambientales exteriores. En este sentido estudios realizados para envolventes de doble piel de vidrio demuestran el potencial de rendimiento que tienen estas estrategias de adaptación, figura 13 (Borodinecs et al, 2012), análisis de estrategias para construir fachadas de doble revestimiento con un rendimiento térmico variable destinadas a minimizar el consumo de energía por los sistemas de aire acondicionado.

La incorporación de material absorbente en los sistemas de protección solar tiene muy buen rendimiento y combina la regulación de la protección solar con la protección al ruido exterior (Zuccherini et al, 2015). Forma y material son determinantes del comportamiento acústico final de la envolvente como complemento al aislamiento de cada componente por separado. La forma de la fachada implica muchas veces un efecto de apantallamiento que puede implicar niveles de atenuación del sonido de hasta 10 dB sobre el plano de aventanamiento. En la figura 14 se indican resultados de atenuación sonora de acuerdo a conformación de cerramientos de fachada (Maristany et al, 2016). Los niveles de atenuación logrados por el apantallamiento producidos por balcones y sus materiales son sustancialmente altos en relación a los requerimientos de control de ruido, lo cual justifica su uso como mecanismo de control acústico.

Desde una visión adaptativa, y en relación a las demandas ambientales, la envolvente tiene diversas metas o propósitos cuyo nivel de importancia relativa está relacionado principalmente con las solicitudes ambientales exteriores y los objetivos interiores de confort. En la tabla N°2 se indican algunos de estos objetivos y las funciones responsivas asociadas e indicadores y parámetros físicos vinculados.

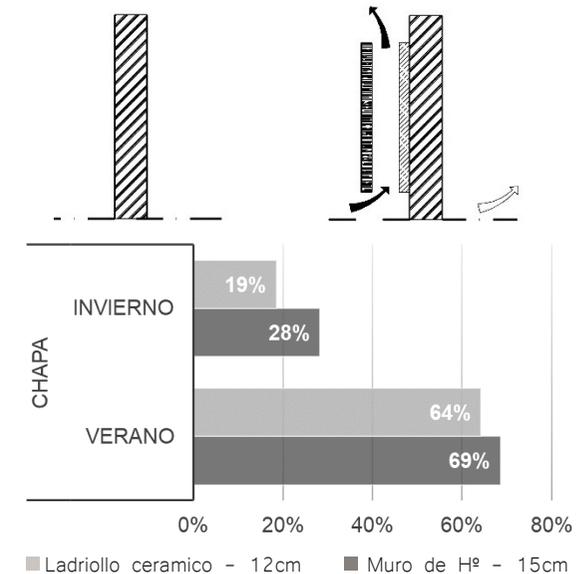


Figura 12. Porcentajes de reducción de energía transmitida en un muro por aplicación de un sistema trans ventilado de chapa (Maristany et al, 2016)

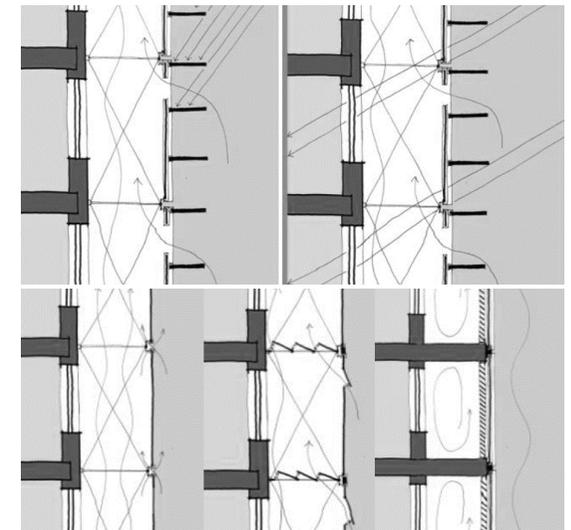


Figura 13. Estrategias de modificación del rendimiento térmico de envolvente de doble piel (fuente: (Borodinecs et al, 2012))

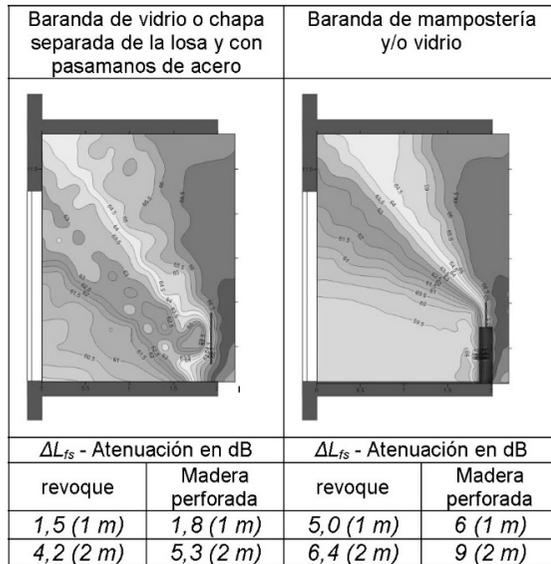


Figura 14. Porcentajes de reducción de energía transmitida en un muro por aplicación de un sistema ventilado de chapa (Maristany et al, 2016)

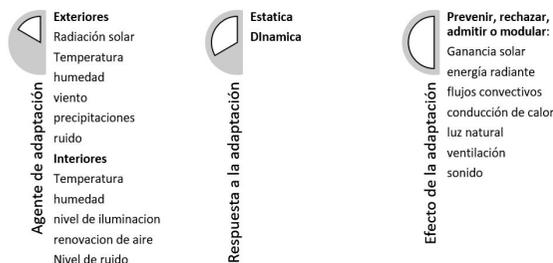


Figura 15. Agentes externos que posibilitan la respuesta de la envolvente.

La envolvente busca responder a un agente externo para producir un determinado efecto para alcanzar el propósito o meta. Estas variables se muestran en la figura 15, donde el agente de adaptación es el disparador exterior que hace que la envolvente produzca una respuesta. La respuesta a la adaptación, puede ser estática o dinámica, y en cualquier caso implica un cambio en las propiedades físicas o en su comportamiento termodinámico.

La respuesta a la adaptación es el núcleo del proceso de diseño de la envolvente, que parámetros intervienen, que aspectos deben ser tenidos en cuenta, como la envolvente se convierte en una interfaz adaptativa en un agente exterior y un efecto buscado. Que aspectos se priorizan y porque, dependerá del confort, del destino y de los indicadores de calidad interior buscados. La elección del material, la configuración resultante y las potenciales variaciones geométricas buscadas, son las tres variables de diseño posible.

Metas /propósitos	Funciones responsivas	Indicadores	Parámetros
Generación de energía	Colectar y convertir en electricidad la energía eólica y/o solar	Potencia generada	KWh
Eficiencia energética	Prevenir, rechazar, admitir o modular (almacenar y distribuir) ganancias solares, y conductividad, convectividad y flujo de calor por radiación de onda larga para reducir HVAC e iluminación	Demanda de energía	W/m ³
Confort térmico	Prevenir, rechazar, admitir o modular (almacenar y distribuir) ganancias solares, y conductividad, convectividad y flujo de calor por radiación de onda larga para contribuir al confort interior	Condiciones higrotérmicas interiores	Temperatura (°C) Humedad relativa Temperatura radiante media
Calidad del aire interior	Controlar porosidad para el intercambio y filtrado del aire exterior	Nivel de ventilación	m ³ /h m/s
Calidad acústica	Prever, rechazar, admitir o redireccionar la presión sonora	Nivel de ruido Reverberación	dB – Hz TR (s)
Rendimiento visual	Prever, rechazar, admitir o redireccionar la luz natural	Nivel de iluminación Deslumbramiento	Lux Cd/m ²
Control personal	Interacción de los usuarios y adaptación para necesidades individuales	Calidad ambiental subjetiva	

Tabla N°2. Objetivos y funciones responsivas asociadas e indicadores y parámetros físicos vinculados.

Consideraciones sobre la termodinámica y la eficiencia energética

El triunfo del paradigma mecánico acompañado de una técnica de construcción menos conservativa obliga a revisar la relación de la arquitectura con la energía y el impacto que este desarrollo mecánico tiene sobre la cuestión energética. El principal problema es que, a diferencia de lo mecánico, lo energético no puede estudiarse de forma aislada, es imposible separar un sistema de su entorno produciéndose complejos procesos de interacción e irreversibilidad.

El edificio deja de ser un objeto para definirse como un sistema, en general un sistema abierto, donde hay permanente intercambio de materia y energía con el entorno. Esta forma de concebir el edificio como un sistema en permanente intercambio energético con el entorno, remite al primer principio de la termodinámica que tiene que ver con la cantidad y transformación de la energía de una forma a otra sin importar su calidad.

Inaki Abalos propone el concepto de estética de lo termodinámico considerando que existen dos modelos proyectuales según el clima: frío, con gestión artificial del confort, uso de medios mecánicos y ciclo estacional; y tropical o subtropical, con gestión hábil, tecnología artesanal y ciclo diario. Gran parte de los procesos adaptativos de las envolventes está asociado a fenómenos termodinámicos.

Las envolventes arquitectónicas y urbanas deben integrarse en la concepción de la envolvente dinámica. En un nivel básico los materiales componentes son el condicionante principal del desempeño energético de la envolvente, múltiples capas de funciones específicas basadas en el comportamiento físico de cada material; un nivel intermedio se refiere a la forma de la envolvente como aporte a las condiciones de control ambiental y finalmente es necesario integrar estos aspectos tales como la forma, materiales y sistema resultante de manera de disponer de sistemas adaptados al clima, de envolventes dinámicas, adaptativas o variables de alta eficiencia que aseguren las condiciones interiores de confort adaptativo con el mínimo consumo energético.

El desarrollo del proyecto implica integrar tres aspectos centrales que permitan desarrollar envolventes arquitectónicas adaptativas capaces de garantizar condiciones de confort con alta eficiencia: el primero se refiere a las condiciones de acondicionamiento interior basadas en los principios de confort adaptivo, el segundo referido a las posibilidades tecnológicas y económicas locales y el tercero referido a las preexistencias ambientales o micro ambientales de la región en estudio tres ejes que ordenan una metodología de trabajo.

Bibliografía

Aelenei, D., Aelenei, L., & Vieira, C. P. (2016). *Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions*. *Energy Procedia*, 91, 269- 275. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.218>

Arrieta, G., & Maristany, A. (2018). *Cambiando los paradigmas: revisión del concepto de confort higrotérmico desde los 60' hasta la actualidad*. *Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6*, pp. 01.23-01.34.

Batugnbakal, Aireen & Konis, Kyle & Gerber, David & Valmont, Elizabeth. (2013). *Implementation of Field-Assessment: A Key Element in a Acoustic Design Guide for Building Facades and Urban Soundscape*. *Geodesign International Conference 2013, At Beijing, China*

Beaman, M.L., & Bader, S. (2010). *Responsive Shading | Intelligent Façade Systems*. *Acadia 2010*.

Borodinecs A., Zemitis J. & Prozuments A. (2012) *Passive use of solar energy in double skin facades for reduction of cooling loads*. *Proceedings of World Reneeable Energy Forum (WREF), USA, Denver*, p 1-6.

Dear R.J., Akimoto T., Arens E.A., Brager G., Candido C., Cheong K.W., Li B., Nishihara N., Sekhar S.C., Tanabe S., Toftum J., Zhang H. & Zhu Y. (2013). *Progress in thermal comfort research over the last twenty years*. *Indoor Air*. 2013 Dec;23(6):442-61. doi: 10.1111/ina.12046. Epub 2013 May 16.

Haugen, S.P. (2013). *Sound Reflection from Building Facades*.

Ismail, Mostafa Refat (2013). *Quiet environment: Acoustics of vertical green wall systems of the Islamic urban form*. *Frontiers of Architectural Research*, 2, 162–177

Jang, H. S., Kim, H. J., & Jeon, J. Y. (2015). *Scale-model method for measuring noise reduction in residential buildings by vegetation*. *Building and Environment*, 86, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.020>

Maristany A.R., Abadía L., Agosto M., Carrizo L. & Chitarrini M. (2014). *Optimización del Diseño Formal de Envoltentes para el Control del Ruido de Tránsito*. *IX Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA 2014*. Valdivia, Chile.

Maristany A., Branco C., Durán M. & Varas M. (2016). *Aproximación al potencial de uso y desempeño energético de fachadas ventiladas en Córdoba, Argentina*. Congreso ARQUISUR, Valdivia, Chile.

Mazzucchelli, Enrico & Romano, Rosa & Aelenei, Laura & Gomes, M. & Karlessi, Theoni & Alston, Mark & Aelenei, Daniel. (2018). *Passive Adaptive Façades – Examples from COST TU1403 Working Group 1*.

Monteiro Da Silva, S; Guedes de Almeida, M. (2010). "Thermal and Acoustic Comfort in Buildings". *Internoise 2010. Noise and Sustainability*. Lisboa, Portugal.

Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Willmann, A. & Schlüter, A. (2016). *The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes*. *Frontiers of Architectural Research*. 5. 10.1016/j.foar.2016.03.002.

Nicol, J. F. & Humphreys, M. A. (2002). *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)

Oral, Gül & Yener, Alpin & Bayazit, Nurgun. (2004). *Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions*. *Building and Environment*. 39. 281-287. 10.1016/S0360-1323(03)00141-0.

Unver, Rengin & Akdağ, Neşe & Gedik, Gülay & Öztürk, Leyla & Karabiber, Zerhan. (2004). *Prediction of building envelope performance in the design stage: An application for office buildings*. *Building and Environment*. 39. 143-152. 10.1016/j.buildenv.2003.08.014.

Varini, Claudio, (2009). *Envolventes arquitectónicas, Nueva frontera para la sostenibilidad energético-ambiental. ¿Cuáles modelos y cuáles aplicaciones?* *Alarife: Revista de arquitectura*, Nº17, 2009 , pág. 79

Waseef, Ahmed & El-Mowafy, Basma. (2017). *Towards a new classification for responsive kinetic facades*. *Conference: Mmaryat International Conference "MIC 2017" At: Jeddah, Saudi Arabia*

Zuccherini Martello, Nicolò & Fausti, Patrizio & Santoni, Andrea & Secchi, Simone. (2015). *The Use of Sound Absorbing Shading Systems for the Attenuation of Noise on Building Façades. An Experimental Investigation*. *Buildings*. 2015. 1346-1360. 10.3390/buildings5041346.

Schoenefeldt, Henrik. (2008). *The Crystal Palace, environmentally considered*. *Architectural Research Quarterly*. 12. 283 - 294.

4

EFICIENCIA LUMINOTÉCNICA Y DISEÑO ARQUITECTÓNICO

IMPORTANCIA DE SU CONCURRENCIA EN TIPOLOGÍAS
INSTITUCIONALES.

Autores:

Miriam María Agosto
Silvia Liendo
Roque Gerónimo
María del Carmen Zárate.

Colaborador:

Silvia Molina.

Introducción

La Luminotecnia es, en la actualidad, un aspecto esencial dentro del diseño arquitectónico siendo un componente fundamental para la habitabilidad de los espacios utilizados por las personas. Por lo tanto, hacer arquitectura significa crear ámbitos no sólo posibles de ser habitados por sus posibilidades y cualidades técnicas, sino de ser vividos, sentidos y aprehendidos por quiénes son los usuarios de esos espacios.

Es, además, entender la esencia y el rol fundamental que juega la luz en los ambientes que diseñamos. ‘La iluminación comparte con la arquitectura la cualidad de tener la capacidad de protagonizar un hecho artístico, combinando arte y ciencia. Como tal, no es posible poner límites al campo de su desarrollo ni contenerla arbitrariamente con fórmulas artificiosas’ (Maser, 2001, p.137).

Es así, entonces, que la eficiencia en términos luminotécnicos - energéticos y en términos de diseño arquitectónico determinan el enfoque del presente artículo. Es significativo destacar que el diseño de iluminación ha sido abordado desde siempre sobre el análisis de aspectos diversos tales como: actividades a desarrollar, espacio arquitectónico, selección de las luminarias más convenientes y aplicación de los métodos de cálculos, entre otros.

En la actualidad, el diseño de iluminación aborda notoriamente otras necesidades y está siendo entendido: a) Desde la percepción del espacio iluminado: en términos de calidad, confort y satisfacción del usuario. b) Desde la elección de fuentes eficientes de luz, pues en nuestros días es casi improbable pensar en calidad y confort sin eficiencia. El arquitecto debe asegurar que el edificio garantice condiciones de vida confortables para sus ocupantes permitiendo el desarrollo normal y pleno de las actividades que alberga.

Es imprescindible concebir el interés que adquiere el diseño arquitectónico relacionado a la eficiencia luminotécnica en tipologías para la educación, atendiendo a un concepto concurrente o integrador de la arquitectura. El Proceso de Diseño Integrado se define como un procedimiento que apunta a optimizar el edificio como un sistema integral y por toda su vida útil, lo que se logra a través del trabajo interdisciplinario desde el inicio de este proceso. (Fig. 1).

En consecuencia, bajo este enfoque, la etapa de uso y optimización de la edificación requiere de un monitoreo y un seguimiento que posibilite la adecuación de sus componentes y le permita satisfacer las necesidades básicas de sus ocupantes. El diseño de tipologías educativas públicas reúne en particular una serie de aspectos y consideraciones fundamentales que

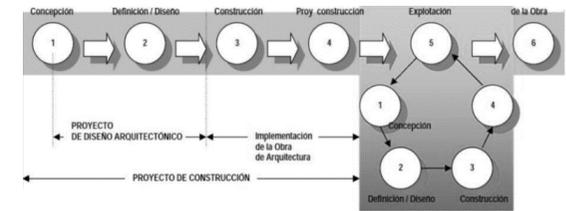


Figura 1. Diseño preventivo en edificios públicos de Lima. Trabajo de investigación Escuela Académico Profesional de Arquitectura (Carrera Barbaran et al, 2015)

el arquitecto debe abordar. En dichas tipologías, se da un alto consumo de energía debido a cuestiones propias del diseño tipológico y su no adaptación a nuevas exigencias en el uso del edificio, al inadecuado diseño de las instalaciones y a la falta de mantenimiento en general.

Aspectos metodológicos

Se presentan en este artículo el análisis y principales conclusiones alcanzadas en el estudio desarrollado bajo un enfoque planteado anteriormente con aplicación de una metodología propuesta para tal fin.

El proyecto tiene como objetivo general aportar a la caracterización y estudio de la eficiencia luminotécnica en ámbitos educativos, a partir de identificar el grado de incidencia e interrelación de las variables que definen el proyecto luminotécnico y arquitectónico en estos espacios. Para lo cual fue necesario: identificar las variables de diseño luminotécnico y arquitectónico relacionadas con la eficiencia luminotécnica en los espacios para la educación (aulas), tomando como base el estudio de casos, reconocer tipo y grado de incidencia de las variables del proyecto lumínico y arquitectónico de las aulas que determinan la eficiencia luminotécnica de las mismas y elaborar recomendaciones a corto y mediano plazo en cuanto a mejoras de las condiciones de eficiencia luminotécnica en estas aulas.

La propuesta metodológica para la realización de este tipo de análisis, implica un cruce de información y marcos de referencia relativos al proyecto arquitectónico y el estudio de requerimientos de diseño de edificios para la educación con el proyecto luminotécnico, y análisis y evaluación de requerimientos o exigencias de iluminación en tipologías para la educación. Es necesaria la sistematización de los datos y análisis de estos con integración de las variables surgidas del relevamiento luminotécnico y el arquitectónico, identificando las circunstancias de diseño que aportan o no a la eficiencia luminotécnica. Ponderación de éstas para establecer grados de incidencia.

VARIABLES DE ESTUDIO

La definición de variables de estudio fue esencial para esta investigación.

Variable independiente: El Proyecto arquitectónico – Es la planeación y solución más sustentable de la conformación espacial y funcional de un edificio de acuerdo a las necesidades y recursos económicos disponibles. En la tabla 1 se detallan los indicadores de la variable y su posible definición operacional / instrumental.

Indicadores de la variable	Definición operacional/ Instrumental
-Marco Normativo - Pliego de Especificaciones Técnicas	
Dimensión física	Análisis de pliegos de especificaciones, planos y registros gráficos.
-Forma y tamaño el local	
-Ubicación de Ingresos y aberturas.	
-Orientaciones y relaciones espaciales.	Relevamiento in situ
Dimensión funcional	
-Destino de/de los locales.	Registro de datos
-Organización espacial.	
-Organización del equipamiento.	
Dimensión tecnológica	
-Materialidad y color de las envolventes.	
-Elementos particulares del diseño estructural – constructivo	

Tabla 1. Indicadores de la variable independiente – El proyecto arquitectónico

Variable independiente: El Proyecto Luminotécnico – Consideraciones necesarias de los factores que permiten recrear el espacio a partir de la iluminación artificial. En tabla 2 indicadores y definición operacional.

Indicadores de la variable	Definición operacional/ Instrumental
-Niveles de iluminación según normativa	
-Confort visual recomendado: contrastes, sombras, deslumbramiento, ambiente cromático.	Análisis de la reglamentación y Normas.
Sistema de iluminación recomendado:	
-Lámpara elegida (flujo luminoso, intensidad, rendimiento, color de la luz, etc.)	Análisis de pliegos de especificaciones, planos y registros gráficos.
-Artefacto recomendado (rendimiento de la luminaria, elementos de control, etc.)	Evaluación y análisis de requerimientos.
-Distribución de las luminarias y forma de montaje (alturas y distanciamientos recomendados).	
-Tipo y diseño de la instalación eléctrica	
-Factor de mantenimiento y de utilización de la instalación.	
Factor de uniformidad media	

Tabla 2. Indicadores de la variable independiente – El proyecto luminotécnico

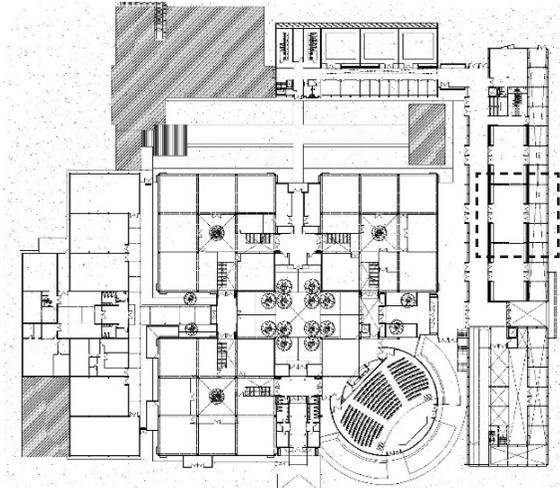


Figura 2. Edificio de la FAUD-UNC y ubicación del caso de estudio

Variable dependiente: La Eficiencia Luminotécnica - Relación entre los conceptos de confort y eficiencia energética y tiene como objetivo dotar de las condiciones adecuadas de visión, seguridad y calidad a los ambientes, creando espacios con atmosferas estimulantes sin dejar de lado la variable de mínimo costo energético. Tabla 3.

Indicadores de la variable	Definición operacional/ Instrumental
-Nivel de iluminación real	Relevamiento in situ
-Reflectancia real de las superficies del local	Registro de datos
-Sistema de iluminación existente: Lámparas y artefactos utilizados.	Encuesta a usuario
-Distribución real de las luminarias y forma de montaje.	Uso instrumento Luxómetro.
-Confort visual real (acomodación y adaptación).	Modelización con programa de simulación
-Grado de deslumbramiento o luminancia real.	Confección instrumento encuesta.
-Uniformidad real de la iluminación.	
Diseño real de la instalación eléctrica:	
-Flexibilidad y complementación de los sistemas de iluminación.	
-Evaluación subjetiva de la eficiencia luminotécnica del edificio.	

Tabla 3. Indicadores de la variable dependiente – La eficiencia luminotécnica

Casos de Estudio

Se presentan dos casos adoptados para el estudio: la Facultad Arquitectura Urbanismo y Diseño de la UNC en Ciudad Universitaria y Escuela ISEAM 36 Domingo Zípoli (Escuela de Niños Cantores) ubicada en la calle Maestro López s/n. Ciudad Universitaria - Ciudad de Córdoba.

El criterio de elección de ambos casos obedece a que tienen diferente destino educativo y poseen distintas características arquitectónico- constructivas. Ambos edificios están implantados en el predio de la Ciudad Universitaria de Córdoba, en el sector sur.

En el edificio de la FAUD, figura 2, atendiendo a que la construcción de este edificio obedeció a cuatro etapas diferentes, se pudo realizar una evaluación diferenciada de la eficiencia luminotécnica de las aulas según los sectores y en función de la antigüedad de cada uno de ellos. El Edificio de la Escuela Domingo Zipoli, figura 3, presenta un desarrollo lineal de baja altura con una marcada orientación este-oeste. Tipológicamente, ambos edificios pueden considerarse como una sumatoria de partes y la evaluación de este arquetipo de edificios

solo se advierte como un sistema complejo de relaciones funcionales, usos, características, demandas energéticas y de confort, propia de las edificaciones destinadas a la educación.

En las figuras 2 y 3 se indica también la ubicación de las aulas adoptadas, figuras 4 y 5, para el estudio en cada edificio. Se trabajó examinando Normativa y Legislación a nivel Nacional referida a arquitectura para la educación y sus requerimientos, y en segundo término los Pliegos de Especificaciones Técnicas de tipo específico para el edificio. Para el estudio de las Dimensiones Física, Funcional y Tecnológicas se diseñó una Ficha de Relevamiento que complementa la información relevada con planta general del edificio con ubicación del local, planta esquemática del aula relevada y fotografías de los espacios áulicos. Las Fichas de Relevamiento del Espacio Lumínico, así designadas, sintetizan detalladamente cada uno de los indicadores de estas variables y se complementan con planta esquemática del aula y fotografías, del espacio iluminado.



Figura 3. Edificio ISEAM 36 – Escuela Domingo Zipoli y ubicación del caso de estudio

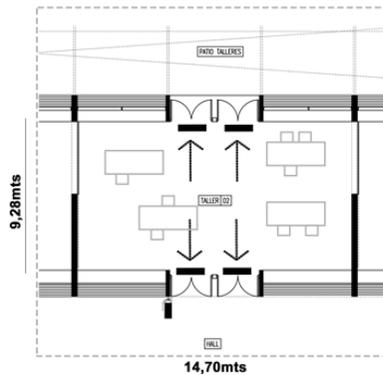


Figura 4. Aula FAUD - Planta General

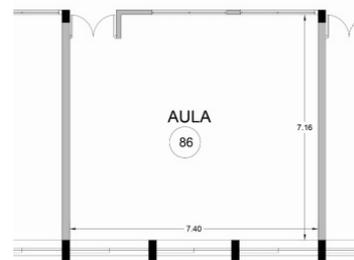


Figura 5. Aula FAUD - Planta General

Se sintetizan los aspectos que definen la Eficiencia Luminotécnica de cada local relevado. En esta etapa del trabajo se procedió a realizar mediciones para cada aula de las condiciones reales de iluminación en diferentes momentos del día: 10 hs, 16 hs. y 21 hs. En las figuras 6 y 7 se muestran los niveles alcanzados para las 21 hs en ambas aulas. Se elaboró también una encuesta de opinión, donde cada encuestado manifestó su apreciación subjetiva en términos de la eficiencia luminotécnica de cada uno de los locales estudiados y en los tres horarios medidos.

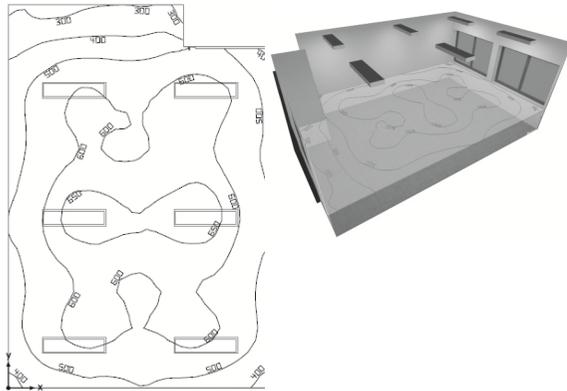
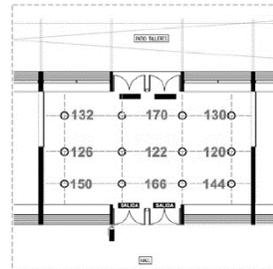


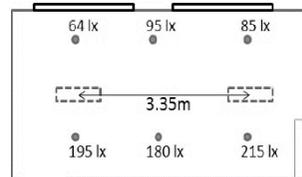
Figura 8. Simulación aula Zipoli Iluminación sobre el plano de trabajo - Dialux



-Nivel de iluminación requerido: 500lux.
 -Nivel de iluminación real: El nivel promedio de iluminación (E_m) es de 145 lux.
 -Uniformidad real de la iluminación: Factor de Uniformidad media = 0.82



Figura 6. Imágenes y niveles alcanzados para las 21 hs en aula FAUD.



-Nivel de iluminación requerido: 500lux.
 -Nivel de iluminación real: El nivel promedio de iluminación (E_m) es de 140 lux.
 -Uniformidad real de la iluminación: Factor de Uniformidad media = 0.45
 Valor recomendado: 0.70



Figura 7. Imágenes y niveles alcanzados para las 21 hs en aula Zipoli.

La sistematización de los datos permite identificar las circunstancias de diseño que aportan o no a la eficiencia luminotécnica estableciendo grados de incidencia, posibilidades de remediación y plazos posibles de remediación. Para cada uno de los indicadores antepuestos se definen niveles de jerarquía o significación asociando cada uno de esos niveles con un código cromático. La propuesta correctiva será aplicada según el criterio de grado, posibilidad y plazos de remediación descartándose la consideración de problemas de baja incidencia y de dificultosa remediación para la propuesta correctiva. Seguidamente se realiza una selección de las situaciones problemáticas de alta incidencia, con posibilidades de remediación factible y regular, con cortos y medianos plazos para dicha remediación.

La evaluación se complementa con una simulación digital con aplicación de software de cálculo DIALUX para determinar las mejoras posibles a partir del reemplazo por nuevas tecnologías en iluminación y adecuación de la arquitectura del local. Se muestra el cálculo de iluminación para el aula 88 – Colegio Zipoli (figura 8).

Conclusiones

Al inicio del presente trabajo se planteó la dificultad que implicaba delimitar el concepto de eficiencia luminotécnica y, a los fines de iniciar el abordaje, se plantearon dos puntos de partida que eran establecer cuáles son los medios/fines que se pretenden y el costo/beneficio que se obtiene al diseñar una instalación eficiente desde el punto de vista luminotécnico.

Resulta además imperioso adoptar estrategias de reducción del consumo de energía, con un leve aumento en el costo inicial, pero que implican beneficios que no resultan despreciables, a saber: un menor costo operativo durante la vida útil de edificio; un mejoramiento en la calidad luminotécnica de los ambientes y una disminución en la inversión inicial por la posibilidad de instalar equipos de menor performance.

De la misma forma se demuestra que es necesario, desde un concepto de Gestión y Concurrencia en el Proceso o Ciclo de Vida de la obra de arquitectura, concebir las acciones coordinadas para el logro de resultados eficientes. Los resultados obtenidos se refieren a recomendaciones que pueden ser aplicadas en etapas de proyecto en nuevas tipologías a desarrollarse (figura 9).

Establecidas las adecuadas premisas de diseño arquitectónico como así también de diseño luminotécnico y realizado el cálculo de verificación para el aula tomada como referencia, se lograron mejores niveles de iluminación, convenientes condiciones de calidad y confort lumínico y finalmente un ahorro del 55% de energía con la aplicación de las medidas correctivas propuestas.

En relación a las transformaciones en el uso y adecuaciones que tienen los edificios, no se tiene en cuenta la Vida Útil del Proyecto ni se revisan Usos y Mantenimiento de los mismos adecuando con nuevas tecnologías y materiales más convenientes. La no sincronización entre proyecto arquitectónico y luminotécnico, lleva a seguir adoptando soluciones que resultan obsoletas, de poco beneficio para la calidad del proyecto de iluminación y que se traducen en soluciones de alto costo para la obra en su conjunto.

El presente trabajo, logró un objetivo más amplio como es obtener a partir del estudio de casos, elementos que permitieron definir una propuesta metodológica de estudio aplicable y traducida en soluciones de mejora.

De la misma manera queda en evidencia la necesidad de pensar una continuidad de esta investigación involucrando a otros actores, muy necesarios, con la segura convicción de que se podrán obtener resultados que se aportarían desde la multidisciplinariedad.



Figura 9. Vida útil de la obra de arquitectura

Bibliografía

Assaf, L, Ruttkay, F., Pereira (2003). Perspectivas de la Eficiencia Energética en la Iluminación: Desafíos para el desarrollo. Actas Congreso ENCAC-COTEDI. Curitiba –Brasil.

Norma IRAM-AADL J20-05. Iluminación artificial de interiores. Características.

Norma IRAM-AADL J20-06. Iluminación artificial de interiores. Niveles de Iluminación

IRAM. Norma 11603: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires. Argentina. 1996.

IRAM. Norma 11605: Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires. Argentina. 1996.



**CONDICIONES DE ENTORNOS
AMBIENTALES PARA LA CONSERVACIÓN
PREVENTIVA DE COLECCIONES EN LA
MANZANA JESUÍTICA DE CÓRDOBA**

**CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTEXTOS FAVO-
RABLES.**

Autores:

Alicia Rivoira
Julio Pérez
Tomas O'Neill
Roberto Tambussi
Gastón Di Forte

Introducción

La Manzana Jesuítica, Patrimonio Mundial por la UNESCO desde el año 2000, alberga entre sus muros un gran acervo bibliográfico: la Colección Jesuítica, cuyos orígenes se remontan al año 1613, en la Librería Grande del Colegio Máximo, y está integrada por libros de los siglos XVI, XVII y XVIII, la Colección Ferrer Vieyra con ediciones incunables, post incunables y libros impresos por importantes editoriales europeas, la colección de la familia Juri, de cartografías, grabados y libros de los siglos XVI a XX, manuscritos del Código Civil Argentino, colecciones de obras sobre América entre los siglos XVII y XVIII, entre otras de singular importancia. (Juri, 2017)

Estos libros manuscritos y colecciones, están conformados por materiales de diferente naturaleza y épocas: papel, pergaminos, cueros, hilos, aglutinantes, adhesivos, tintas, que reaccionan de diferente forma ante factores ambientales. Son vulnerables a los cambios de humedad relativa y temperatura, pueden ser atacados por diferentes plagas y la iluminación puede degradarlos. La evaluación de las condiciones de los entornos ambientales donde se exhiben, es un requisito fundamental para la conservación preventiva de los mismos.

Las temperaturas muy altas o muy bajas pueden aumentar o acelerar procesos químicos de deterioro y provocar expansión o sequedad de algunos materiales (papel, cuero, pinturas, otros). (Michalski, 2009 a, b, c) (Ogden, 1998)

Existe probabilidad de deformaciones y rotura de materiales orgánicos, por debajo de un 40% y por encima de un 70% de humedad relativa. (Erhardt y Mecklenburg, 1994) El papel reseco se torna quebradizo, cuando éstas son bajas.

Existe consenso internacional en que, altos valores de humedad relativa y temperatura, facilitan el crecimiento de hongos y acentúan la actividad de insectos. Cambios bruscos de temperatura y humedad relativa, en cortos períodos de tiempo, pueden ocasionar alteraciones dimensionales en el material bibliográfico, provocar grietas y deformaciones.

Cualquier variación en las condiciones de temperatura y humedad relativa, debe ser gradual para preservar las colecciones. (Michalski 2009 a, b) (Herráez, Salamanca, Pastor, Arena y Gil Muñoz, 2014) (Ogden, 1998).

El espectro de incidencia de la iluminación, (rayos ultravioletas, infrarrojos, luz visible) también puede ser responsable de la desintegración, deterioro, oscurecimiento o amarilleo de la superficie de los materiales orgánicos. Por ello el análisis de tragaluces, ventanas y la ilumina

ción artificial es fundamental para minimizar ese riesgo. (ICOM-UNESCO,2006)

Las colecciones, también están expuestas al “biodeterioro” ocasionado por bacterias y hongos, produciendo una pérdida irreparable en las mismas ya que se pueden alterar propiedades físicas y químicas de los materiales que las constituyen. (Lavin et al., 2012) El contenido de humedad en un material, es uno de los factores más importantes de crecimiento de bacterias, aumenta la probabilidad de aparición de plagas a partir del 60 – 70% de humedad relativa. (Herráez, Salamanca, Pastor Arena & Gil Muñoz, 2014)

Dado que no se reconocen antecedentes de estudios sistemáticos sobre la calidad ambiental de la Manzana Jesuítica y su incidencia en la conservación de las colecciones, se desarrolló en el marco del Programa “Ambiente, tecnología y Diseño Sustentable. Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética” el proyecto “Comportamiento ambiental y conservación preventiva del acervo bibliográfico en edificios de la Manzana Jesuítica de Córdoba, Argentina”, de modo de valorar las condiciones ambientales de los espacios que albergan el acervo bibliográfico.

A partir de ello, se evaluaron espacios representativos del Museo Histórico de la Universidad Nacional de Córdoba: Salas 3 y 4 y Sala Familia Juri y la Sala Vélez Sarsfield, de la Biblioteca Mayor. Se presentan en este artículo, resultados del monitoreo y evaluación ambiental de la Sala 3 del Museo Histórico, espacio destinado a la exhibición de Colecciones Jesuíticas y su relación con parámetros referenciales.

Objetivos.

Los objetivos del Proyecto de Investigación desarrollado son:

Objetivo General: Contribuir a la adecuada conservación del acervo bibliográfico de la Manzana Jesuítica de Córdoba.

Objetivos Específicos:

Evaluar el comportamiento ambiental de salas que albergan las colecciones.

Identificar factores ambientales responsables de deterioro de las colecciones.

Proponer, junto a los profesionales responsables de la conservación, acciones tendientes a mejorar las condiciones ambientales de los espacios.

Materiales y métodos.

Se realiza una investigación bibliográfica, mayoritariamente desarrollada en Europa y América del Norte. Se seleccionan autores, parámetros y normativas de referencia.

La metodología utilizada para el seguimiento de parámetros ambientales, es la establecida en el “Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales, Plan Nacional de Conservación Preventiva del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España” y “El Manual de preservación de bibliotecas y archivos del Northeast Document Conservation Center”. Se consideran también las recomendaciones de Stefan Michalski, miembro del Canadian Conservation Institute.

Se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa interior y exterior, estudios de radiación directa, difusa y reflejada, considerando incidencia, orientación de los espacios, espectro de emisión y tiempo de exposición de las Colecciones (relevamiento fotográfico y simulaciones) e imágenes térmicas, en el período comprendido entre el 27 marzo de 2017 y 11 de junio de 2019. La toma de datos de temperatura y humedad relativa se realizó en intervalos de 15 minutos.

Se utilizaron sensores de adquisición de datos de temperatura y humedad relativa HOBO, termo-higrómetro Testo modelo 635-2 con sonda de temperatura, cámara termográfica Testo y softwares para procesamiento de datos, propios de cada instrumental. (Fig. 1)

Los valores de temperatura y humedad relativa exterior, fueron obtenidos de la Estación Meteorológica Davis, ubicada en el Centro de Investigaciones Acústicas CIAL – FAUD – UNC.

Los estudios microbiológicos, de evaluación de calidad del aire, fueron ejecutados por CE QUIMAP, Centro de Química Aplicada, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba. Se colocaron placas Petri abiertas, durante un lapso de 1 hora, en puntos diferentes en salas y archivos. No se presentan resultados en este artículo. Se encuentran disponibles para consulta.

Los valores obtenidos se comparan con referenciales nacionales e internacionales seleccionados en la investigación bibliográfica.



Fig. 1: Instrumental de medición. (CIAL – FAUD – UNC)

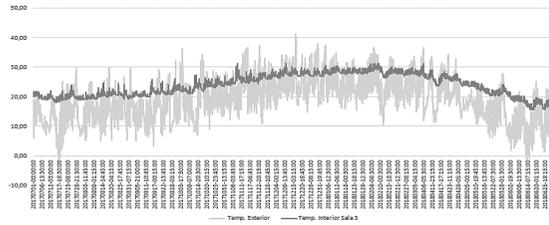


Fig. 4: Resultados del monitoreo de temperatura: Sala 3 y exterior.

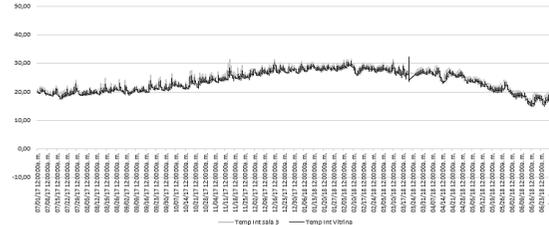


Fig. 5: Resultados del monitoreo de temperatura: Sala 3 e interior vitrina.

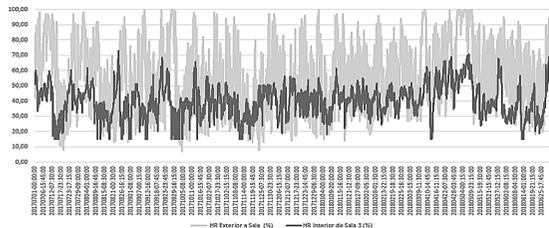


Fig. 6: Resultados del monitoreo de humedad relativa: Sala 3 y Exterior.

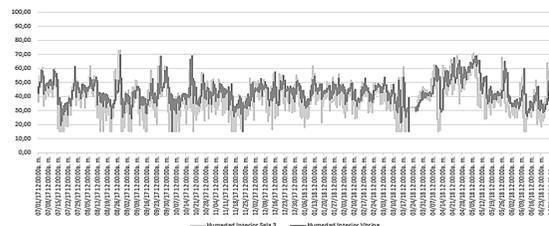


Fig. 7: Resultados del monitoreo de humedad relativa: Sala 3 e Interior vitrina.

Desarrollo El clima interior

Se presentan los resultados de mediciones de temperatura y humedad relativa en el interior de sala 3 y en el interior de la vitrina tipo. (Fig. 2 y 3) Período: 1 de Julio de 2017 a 30 de junio de 2018.



Figura 2. Sala 3 Museo Histórico y Vitrina monitoreada.

Fig. 3. Salas 3 y 4. Vitrina evaluada en Sala 3 y puntos de medición.

Los resultados obtenidos son:

En relación a la temperatura: La envolvente lateral de la Sala 3, de gran masa, de 1,20m de espesor, constituida por ladrillo, piedra, cal y arena, produce un amortiguamiento en las temperaturas interiores registradas en la Sala. Mientras el gradiente térmico anual exterior es de 43,7°C, el interior se reduce a 15,76°C, desplazando la curva ligeramente hacia arriba. El promedio de las temperaturas exteriores es de 18,89°C y de las interiores 24,02°C. (Fig. 4)

En el interior de la Sala 3, la temperatura máxima es de 31,42°C, la mínima de 15,66°C con un promedio de 24,39°C. La curva de temperatura interior de la vitrina copia la curva de temperatura de la sala, registrándose una máxima de 32,26°C, una mínima de 14,82°C y una media de 23,93°C. (Fig. 5)

En relación a la humedad relativa: Mientras la humedad relativa máxima y mínima exterior se sitúan en 100% y 7%, con un promedio de 56,27%, los registros interiores de la sala indican una máxima de 70,54% y una mínima de 15%, con un valor medio de 41,85%. Se observa un amortiguamiento significativo de la curva con un desplazamiento hacia valores inferiores. (Fig. 6)

En el interior de la vitrina la humedad relativa máxima es de 57,40%, la mínima de 31,90%, con un valor medio de 46,41%, registrándose una disminución significativa de los valores máximos de la sala y aumentando los mínimos. (Fig. 7)

Criterios para la definición de condiciones óptimas de conservación

El seguimiento y análisis de condiciones ambientales, es necesario para determinar si las condiciones micro climáticas existentes, son adecuadas para la preservación y conservación de las colecciones. Es el profesional a cargo de la conservación de los bienes quien, junto al especialista en evaluación ambiental, debe establecer los parámetros finales, en virtud de las características de los materiales que componen los bienes a conservar, los límites de probabilidad de riesgos y el estado de las colecciones.

Los enfoques para el establecimiento de condiciones óptimas pueden presentar diferentes criterios, entre ellos, establecer valores de referencia fijos para todo el año y establecer valores que se adaptan a las condiciones y fluctuaciones climáticas de un período largo (clima histórico), al que “el libro ya se ha aclimatado” y no sea nocivo.

En virtud de los criterios expuestos, se analizan los resultados obtenidos en el monitoreo de temperatura y humedad relativa en el interior de la vitrina de sala 3.

Establecimiento de valores de referencia fijos

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se seleccionan como referenciales los valores recomendados por organismos y autores indicados tabla. (Fig. 8) La misma se basa en la recopilación presentada por Michalski (2016).

El análisis de fluctuaciones admitidas no se presenta en este trabajo.

Considerando, entonces valores de temperatura entre 15 y 25°C y de humedad relativa entre 40 y 60%, la sala 3 y vitrina tipo presentan las siguientes condiciones.

La temperatura máxima de la Sala 3, alcanza los 31,42°C, la mínima es 15,66°C, con un promedio de 24,39°C. La curva de temperatura interior de la vitrina tipo copia la curva exterior, registrándose una máxima de 32,26°C, una mínima de 14,82°C y una media de 23,93°C. Se puede observar que en el período comprendido entre el 1 de Noviembre de 2017 y 13 de Abril

	Media Anual		Fluctuación admitida	
	T. °C	H.R. %	T °C	H.R. %
AIC. (American Institute for Conservation) (Velios 2014)	15 a 25	40 a 60		+ - 5 diario
Bizot, National Museum Directors Conference. (Velios, 2014)	15 a 25	40 a 60		+ - 10 diario
AICCM. (Australian Institute for the Conservation of Cultural Materials)	15 a 25	40 a 60	+ - 4°C por día	+ - 5 diario
Michalski. (2007)	15 a 25	50% media histórica	+ - 2 en corto período	+ - 5 en corto período
ASHRAE (Sociedad Americana de calefacción, refrigeración y aire acondicionado). Bibliotecas, archivos y museos	15 a 25	50% media histórica	Variable dependiendo del tipo de control a aplicar.	

Fig. 8: Valores y rangos recomendados. Autores varios.

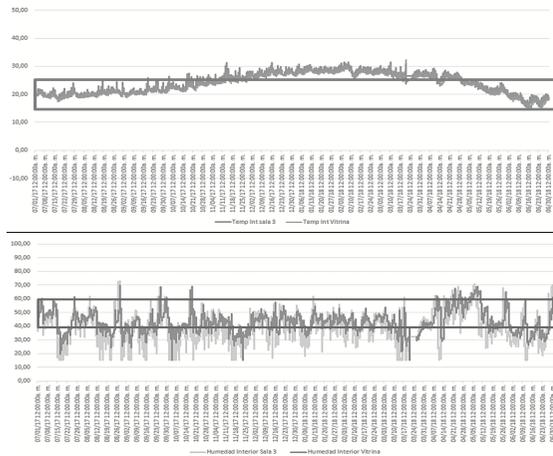


Fig. 9: Datos de temperatura y humedad relativa en sala 3 e interior de vitrina tipo. Comparación con valores referenciales.

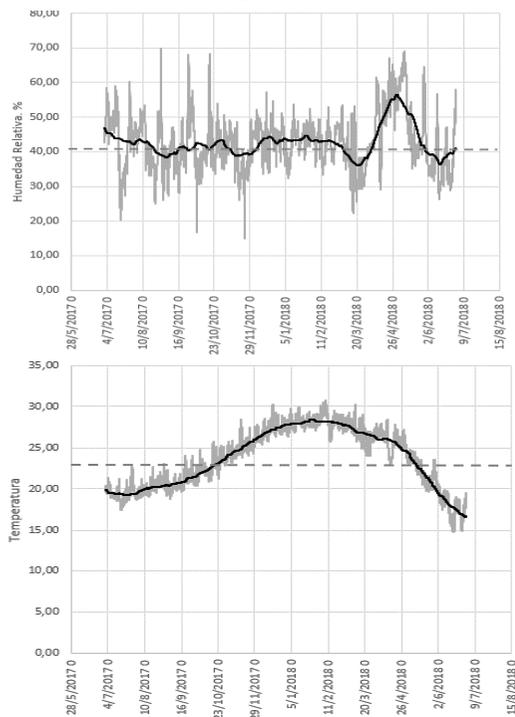


Fig. 10: Ciclo estacional de humedad relativa y temperatura.

de 2018 se registran temperaturas de la sala y la vitrina superiores a las recomendadas. (Fig. 9)

En relación a la humedad relativa: Se observa la existencia de valores inferiores a los recomendados en todas las épocas del año. Son escasos los registros superiores a los recomendados. Se detecta que entre Octubre de 2017 y Abril de 2018, los valores máximos se encuentran dentro de la franja indicada en los valores de referencia. Este período coincide con los registros de temperatura que superan los referenciales. (Fig. 9) Se debe analizar la rapidez de las fluctuaciones.

Establecimiento de valores que se adaptan a condiciones y fluctuaciones climáticas de largo plazo.

La Norma UNE-EN 15757, Conservación de Patrimonio Cultural. Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar los daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos, (AENOR, 2011) establece una metodología de análisis de un entorno climático histórico y una inspección de las condiciones de los objetos. La decisión se toma en función de la inocuidad o no de las condiciones climáticas existentes, permitiendo valores de temperatura y humedad relativa más flexibles que los valores de referencia fijos, que habitualmente se toman para la conservación, limitando daños físicos.

La estrategia de esta Norma se basa en el mantenimiento del microclima en términos de niveles, ciclos estacionales y fluctuaciones de temperatura y humedad relativa, a los que los materiales se han aclimatado, durante un período de tiempo prolongado. El conservador determinará si el mismo no es nocivo y que variable es la prioritaria. (p.8)

Se analiza el mismo período que en el criterio anterior. Se toman intervalos de muestreo de una hora.

Calculo del ciclo estacional de humedad relativa y temperatura en vitrina tipo de sala 3: Se obtiene calculando para cada lectura la media móvil central. Ésta suaviza las fluctuaciones a corto plazo y resalta la tendencia a los ciclos a largo plazo. Su resultado se puede observar en Fig. 10.

Calculo de fluctuaciones de corta duración: La fluctuación se calcula como la diferencia entre la lectura de humedad relativa y/o temperatura en curso y la media móvil calculada

para esa lectura. Así se tiene en cuenta la variabilidad estacional natural.

Determinación del intervalo de referencia: Al ser las humedades relativas y las temperaturas inestables, los límites inferior y superior del intervalo de referencia de las fluctuaciones de ambos parámetros, se determinan respectivamente como los percentiles 7° y 93° de las fluctuaciones registradas en el período de monitoreo. (Fig. 11)

Se excluye el 14 % de las fluctuaciones mayores, eliminando crestas y valles.

Conclusiones

A partir del análisis realizado, podemos concluir que, aplicando el criterio de establecimiento de valores Fijos: Se registran valores de temperatura superiores a los de referencia, en el período comprendido entre Noviembre de 2017 y Abril de 2018. No se observan picos de eventos aislados.

Se registra un número significativo de valores de humedad relativa inferiores a los de referencia, durante todo el período de medición. Los valores superiores en cambio son escasos. Se debe evaluar la rapidez de la fluctuación. Se registran picos de eventos aislados.

Con establecimiento de valores que se adaptan a condiciones y fluctuaciones climáticas de largo plazo: Los valores de temperatura obtenidos, son superiores a los establecidos según el criterio anterior, considerando que el libro “se ha aclimatado” al clima histórico de la vitrina.

Se obtienen valores de humedad relativa mayores y menores a los requeridos según el criterio anterior.

El método establecido en la Norma UNE-EN 15757, permite obtener valores más flexibles, en función del clima histórico de la Manzana Jesuítica.

Ambas situaciones requieren acciones de control graduales y controladas. La decisión sobre las mismas, debe realizarse en conjunto con el profesional a cargo de la conservación. Iniciar con métodos de control pasivo, control de ingreso de radiación solar directa y reflejada, adecuación y reubicación de vitrinas de exhibición, establecimiento de condiciones de uso y control de los espacios, entre otras, acompañado de un programa de monitoreo de intervenciones (Rivoira, et al., 2020) pueden considerarse los primeros pasos en la búsqueda de condiciones favorables para la perdurabilidad de las colecciones en la sala analizada.

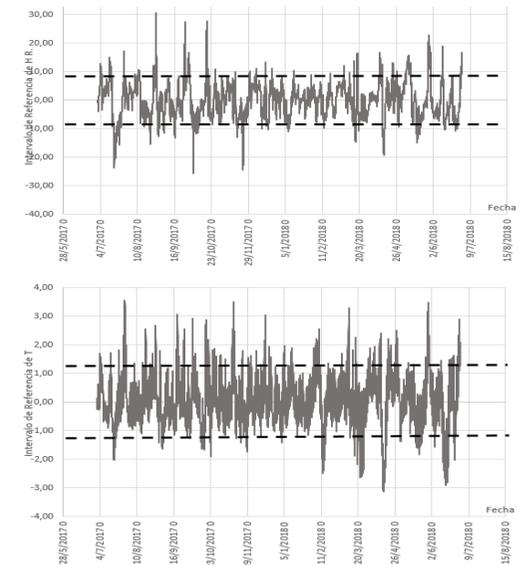


Fig. 11: Intervalo de Referencia y límites de humedad relativa y temperatura

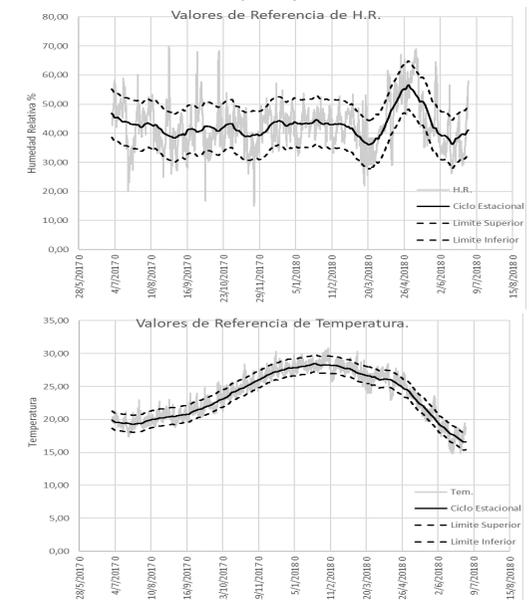


Fig. 12: Valores de referencia admisibles, sujetos al análisis del Conservador.

Bibliografía

AENOR (2011). *Conservación del patrimonio cultural. Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos. UNE-EN 15886. Madrid: AENOR.*

Erhardt, D. y Mecklenburg, M. (1994) *Relative humidity re-examined. En Preventive Conservation: Practice, Theory and Research. Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress. P. 32-38. Londres: International Institute for the Conservation of artistic and historic Works.*

Herráez, J., Salamanca, G., Pastor Arenas, M. y Gil Muñoz, T. (2014). *Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales. Plan Nacional de Conservación preventiva. Ministerio de Educación Cultura y Deporte. Madrid, España: Secretaría general técnica.*

ICOM-UNESCO. (2006) *Como administrar un museo. Manual práctico. Recuperado de: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147854_spa*

ICOM, (2017). *Código de deontología del ICOM para los Museos. París: Consejo Internacional de Museos. Recuperado de: <https://icom.museum/es/actividades/normas-y-directrices/codigo-de-deontologia/>*

Juri, H. O. (2017). *Los orígenes de la Casa de Trejo en la Manzana Jesuítica. Patrimonio Mundial de la UNESCO. Córdoba, Argentina: Editorial de la UNC.*

Lavin et al. (2012). *Calidad del ambiente en archivos biodeterioro de soportes documentales. Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente. AUGM. La Plata. Argentina.*

Michalski, S. (2016). *Climate Guidelines for Heritage Collections: where we are in 2014 and how we got here. Government of Canada: Canadian Conservation Institute.*

Michalski, S. (2009a). *Humedad Relativa incorrecta. Roma, Italia: ICCROM.*

Michalski, S. (2009b). *Temperatura incorrecta. Roma, Italia: ICCROM.*

Michalski, S. (2009c). *Agentes de deterioro: Luz visible, radiación ultravioleta e infrarroja. Roma, Italia: ICCROM.*

Ogden, S. (1998). *El manual de preservación de bibliotecas y archivos del Northeast Document Conservation Center. DIBAM. Santiago de Chile, Chile.*

Rivoira, A., et al. (2020) Condiciones ambientales para la preservación de colecciones en edificios históricos. La Colección Jesuítica en el Museo de la UNC. Córdoba. Argentina. Aceptado para su presentación en Jornadas de Investigación, Encuentro y Reflexión 2020. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba.

6

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL HACIA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS

Autor:

Viviana Rodríguez

Colaboradores:

Malvina Gigli
Y. García

Análisis del Edificio de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Ala Norte Resultados Preliminares

Introducción

Los edificios afectan el ambiente circundante en el que se encuentran. Todo edificio, en las distintas fases de su vida: etapa de proyecto, construcción, funcionamiento, hasta su muerte, genera un flujo de recursos con el medio; recibe, energía, agua potable y devuelve residuos, dióxido de carbono, efluentes. Incluso se degrada generando residuos de su propia deconstrucción.

Debe cumplir con niveles de confort aceptables para que los usuarios, puedan desarrollar sus actividades correctamente. Los niveles de confort, involucran la temperatura y humedad interior relativas agradables, buena iluminación natural, equipamiento cómodo, visuales hacia el exterior, etc.

Estas construcciones consumen energía en todos los ciclos de su vida. El ahorro de recursos parte de un diseño sustentable, evitando, por ejemplo, el consumo irracional del agua potable, las pérdidas y ganancias térmicas de la envolvente, e instar a la iluminación y ventilación natural entre otras medidas.

En este trabajo se plantea la evaluación del desempeño de sostenibilidad de un edificio de la Universidad Nacional de Córdoba, relativo a su diseño, mantenimiento, operatoria, construcción y final de la vida útil, para establecer indicadores relativos.

Dichos indicadores son medidas cuantitativas y/o cualitativas o descriptivas, que representan los aspectos, de un edificio, que tienen un impacto potencial sobre los recursos naturales, el bienestar y la salud de los ocupantes, la equidad social, el patrimonio cultural, etc.

Según la Norma IRAM 21929-1 "Construcción sostenible, Indicadores de Sustentabilidad"; los principales aspectos de un edificio que ofrecen un impacto, se categorizan en: Emisiones de aire, Uso de recursos no renovables, Consumo de agua potable, Generación y disposición de residuos, Cambio de uso del suelo, Acceso a los servicios, Accesibilidad, Condiciones y calidad del aire interior, Adaptabilidad, Costos, Capacidad de mantenimiento, Seguridad, Funcionalidad, Calidad de diseño.

Todas las etapas del ciclo de vida de un edificio se deben considerar en el desarrollo de los indicadores.

Para conocer éstos indicadores es necesario realizar el relevamiento de la unidad académica.

Se aclara que los datos se consideran teniendo en cuenta tres criterios:

- a. ¿cómo utilizan el edificio, los usuarios?
- b. ¿cómo se organiza o gestiona el edificio?
- c. ¿qué prestaciones ofrece?

El estudio nos permite conocer tanto el nivel de información disponible y la adecuación de los tres factores citados anteriormente con las necesidades de la actividad.

Luego de la toma de datos, se elabora un diagnóstico. Éste busca mostrar no solo que la mejora se fundamente en medidas tecnológicas y económicas, sino, en prestar atención en otros aspectos, como son el uso eficiente y la disminución de la demanda.

Según la Norma IRAM 11603, la ciudad de Córdoba se encuentra en la zona bioclimática III a: Los veranos son levemente calurosos y presentan temperaturas medias que oscilan entre los 20°C y 26°C, con máximas medias que superan los 30°C, solo en la faja de extensión Este-Oeste. El invierno no es muy frío y presenta valores medios de temperatura entre 8°C y 12°C y valores mínimos que rara vez llega a los 0°C. En general los inviernos son benignos. La Zona III a, tiene amplitudes térmicas mayores de 14°C.

Esta Norma aconseja para las orientaciones SO-O-NO-NE-E-SE el uso de sistemas de protección solar en las aberturas.

La buena calidad ambiental se logra a partir del diseño, teniendo en cuenta, las orientaciones, lograr una adecuada inercia térmica en los cerramientos de los locales y el uso de la tecnología en forma responsable, de lo contrario, se debe recurrir al consumo desmedido de energía que redundará en altos costos económicos y ambientales. En invierno los valores de la Humedad Relativa deben ser > 30 % para evitar problemas respiratorios y < 75%. En verano se debe mantener las temperaturas internas entre 24°C y 28°C.

Surge la necesidad de aislar los cerramientos para evitar las pérdidas y ganancias de calor. Es preferible que el aislante este colocado del lado externo del cerramiento de esa

manera se evita que se cargue térmicamente. Los vidrios de las ventanas y de los muros cortinas, permiten las buenas visuales y dejan entrar la iluminación natural al interior del edificio, pero de todos sus componentes, es el vidrio el que tiene mayor conductividad térmica, o sea en invierno pierde mayor cantidad de energía térmica y en verano la recibe, produciendo el llamado efecto invernadero. El uso de sistemas de protección en ventanas debe evitar la incidencia de los rayos solares sobre la superficie en verano pero debe permitir la incidencia en invierno.

Objetivos generales y específicos

- Mejorar la calidad ambiental interior del edificio, utilizando métodos pasivos.
- Tomar estas prácticas como prueba piloto para otras intervenciones.
- Demostrar, lo importante que es el diseño sustentable, como efecto multiplicador por ser un edificio educativo.

Metodología para la evaluación de un edificio (s/norma IRAM 21929-1)

Se pretende evaluar un edificio de acuerdo con criterios de sustentabilidad que se tendrán en cuenta de cara a los estudios y conclusiones que se realicen.

1- Relevamiento de las condiciones edilicias

a. Diseño: dimensiones de los locales, orientaciones y tipo de las aberturas, presencia o no, de protección en las mismas, diseño funcional, frecuencia de uso, capacidad.

Espacio exterior.

Calidad Estética.

- Integración y armonía del edificio con el entorno.

b. Definición de la envolvente. Condiciones higrométricas de los locales, cálculo de inercia térmica de los cerramientos horizontales y verticales.

Los aspectos que se deben tener en cuenta son:

- Temperatura del aire interior.
- Humedad.
- Movimiento del aire interior.

c. Condiciones visuales interiores.

Los aspectos que se deben tener en cuenta son:

- Nivel de iluminación.
- Deslumbramiento.
- Visibilidad.
- Reflexión.
- Factor de luz diurna.
- Satisfacción con la iluminación artificial y natural.

d. Condiciones acústicas interiores.

Este indicador mide las condiciones acústicas que tienen un impacto en el confort acústico de los usuarios.

Los aspectos a considerar son:

- El nivel de ruido

e. Calidad del aire interior

Los aspectos de la calidad del aire interior son:

- Los olores.
- Patrones de distribución del aire.
- Fuentes de contaminación.

f. Fuente de energía

- Rangos de funcionamiento de la climatización.

- Horarios de funcionamiento de los sistemas de climatización.
- El uso eficiente de los electrodomésticos, tipos de aparatos instalados, convencionales o eficientes.
- g. Consumo de agua:
 - Tipo de grifería: El uso de aparatos eficientes de agua. (dispositivos de ahorro en grifería, inodoros, etc.).
 - Antigüedad de las instalaciones.
- h. Generación de residuos
 - La posibilidad de segregación y reciclado de los residuos.
 - La posibilidad de compostaje de los residuos orgánicos.
- i. Transporte público y privado
- j. Áreas Verdes y abiertas
- k. Accesibilidad
 - Accesibilidad al predio y al edificio.
- l. Operatividad
- m. Otras que se considere necesario según el caso.

2. Diagnóstico

3. Educación:

- a. Colocación de cartelería y reuniones con personal.
- b. Premios por cumplimiento.
- c. Sanciones para los que no cumplen.



Fig. 1: Fachada Norte FAUDI

4. Acondicionamiento del edificio de acuerdo al diagnóstico

5. Verificar ahorro de energía, agua y materiales.

Se comenzó analizando el ala norte y el oeste de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, con la participación de estudiantes avanzados de la misma carrera, con la modalidad de Práctica Profesional Supervisada, ellos elaboraron los primeros análisis, por lo que estas tareas cumplen dos objetivos, por un lado, le sirve a los estudiantes para completar su carrera, y por otro aportan conocimiento y la aproximación al diseño sustentable, a partir de incentivar la crítica arquitectónica.

Relevamiento de Desempeño Ambiental y Sustentabilidad de Edificios.

Se muestra a continuación, a modo de ejemplo de aplicación de la normativa, los resultados preliminares de la primera etapa del estudio del ala norte del Edificio de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la UNC.

Relevamiento condiciones edilicias.

a. Diseño:

El edificio consta básicamente de tres niveles, donde se incluyen espacios destinados a talleres de dibujo, aulas-auditorio, biblioteca, despacho de alumnos, áreas administrativas y de servicio, con conexiones al edificio existente.

La estructura del edificio es de hormigón armado y estructura metálica para el sector de cubierta sobre las aulas-auditorio. Los tabiques divisorios son de roca de yeso y mampostería de ladrillo cerámicos en los locales sanitarios.

La carpintería es de aluminio, de madera y metálica según los diferentes envolventes del edificio, con grandes superficies vidriadas, con una proporción aproximada de 30% de Hormigón y el 70% de vidrio; éstas cuentan con sombra arrojada como protección, en la orientación norte. Sobre el lado oeste las aberturas están protegidas por parasoles verticales de hormigón, y sobre la cara este las aberturas no cuentan con protección, siendo las mismas de vidrio simple.

La terminación exterior del edificio es de hormigón visto y interiormente pintado con látex.

Los pisos son de cemento alisado pulido, mosaicos graníticos y de madera en el interior y de binder lavado en el exterior.

El Edificio cuenta con instalación de voz y datos, de calefacción, de señalización y servicio contra incendio, de alarma de detección de incendio y de detección de intrusos.

El ala norte cuenta con un gran espacio de transición entre las aulas y el exterior el cual conforma un patio seco. El solado está integrado por piedra grava suelta, la separación del exterior se constituye por vigas y columnas de hormigón las cuales alojan rejas exteriores con alguna leve implementación de vegetación. Se proyecta una importante cantidad de sombra sobre el mismo de los voladizos correspondientes a los auditorios con orientación norte, en planta alta.

Este espacio tiene el potencial de mejorar la calidad interior de los locales allí emplazados por medio de la vegetación afín de regular la temperatura y limpieza del aire, ya que los locales no cuentan con ventilación cruzada. Así como aportar superficie absorbente para controlar el nivel de ruido exterior debido a que la envolvente es solo de vidrio foam de 4 mm de espesor.

Calidad Estética

El edificio que surge de un concurso de arquitectura, ofrece una imagen significativa, contextualizada con el Pabellón Argentina, el que se encuentra en las cercanías.

b. Definición de la envolvente. Condiciones higrométricas de los locales, cálculo de inercia térmica de los cerramientos horizontales y verticales.

A modo de ejemplo se muestra el análisis del taller N2 ubicada en la Planta baja del edificio. Dimensiones: 14,70 m x 9,30 m, orientación norte. Ver fig. 3.

El resultado obtenido del cálculo de resistencia térmica de la envolvente del local "NO VERIFICA".

Transmitancia térmica total $K= 5,85$, Recomendado por Norma Iram= 1,25 para un nivel medio de confort.

El resultado obtenido del cálculo de resistencia térmica de la losa del local "VERIFICA".

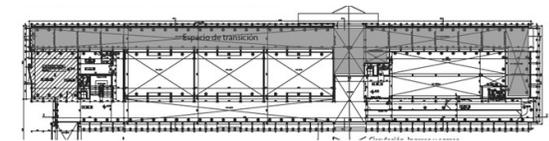


Fig. 2: Planta del sector estudiado, (elaborado por el estudiante Yael L. García, PPA)

Elemento:		m	(M: Muro ó T: Techo)	
Descripción:		muro		
Zona Bioclimática:		III	(I,II,III,IV,V ó VI)	

CALCULO DE RESISTENCIA TERMICA							
Capa	Especificación	e (m)	λ W/m°C	R _t tabuladas m ² °C/W	R _t inv m ² °C/W	Verano R.T.ver m ² °C/W	Invierno R.T.inv m ² °C/W
AIRE INTERIOR							
	capa límite superficial interior			0,13	0,13	0,130	0,130
1	vidrio 4mm clorófinas internas	0,004	5,000			0,001	0,001
2						0,000	0,000
3						0,000	0,000
4						0,000	0,000
5						0,000	0,000
6						0,000	0,000
7						0,000	0,000
8						0,000	0,000
9						0,000	0,000
10						0,000	0,000
	capa límite superficial exterior			0,04	0,04	0,040	0,040
AIRE EXTERIOR							
TOTALES		e: 0,004				RT 0,171	0,171
				Resistencia térmica sólo Componentes: R _t		0,001	0,001
				Transmitancia térmica Total: K		5,85	5,85

K _{max} Admisible s/ IRAM 11605 (1996)	Verificada	verano	
		Nivel A	Nivel B
Si	Si	0,50	0,36
No	No	1,25	1,00
		Mínimo Nivel C	2,00
			1,85

Fig. 3: Cálculo de Inercia Térmica de la envolvente, (Estudiante Yael L. García)

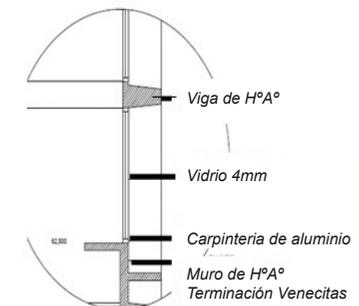


Fig. 4: Corte esquemático de la envolvente norte

Elemento:	T (M: Muro ó T: Techo)	
Descripción:	techo	
Zona Bioambiental:	III (I,II,III,IV,V ó VI)	

CALCULO DE RESISTENCIA TERMICA							
Capa	Especificación	e (m)	λ W/m°C	Rt tabuladas		Verano	Invierno
				R _{ver} m²°C/W	R _{inv} m²°C/W	R.T.ver m²°C/W	R.T.inv m²°C/W
AIRE INTERIOR							
	capa límite superficial interior			0,1	0,1	0,100	0,100
1	hormigon armado	0,050	1,830			0,031	0,031
2	molón de poliestireno exp	0,200	0,033			6,061	6,061
3	hormigon armado capa comp	0,050	1,830			0,031	0,031
4	poliestireno expandido	0,050	0,033			1,515	1,515
5	poliespuma con aluminio	0,010		1,03	1,03	1,030	1,030
6	pedras sueltas	0,200	0,930			0,215	0,215
7						0,000	0,000
8						0,000	0,000
9						0,000	0,000
10						0,000	0,000
	capa límite superficial exterior			0,04	0,04	0,040	0,040
AIRE EXTERIOR							
TOTALES		e = 0,560				RT 9,022	9,022
Resistencia térmica sólo Componentes:						Rt 8,882	8,882
Transmitancia térmica Total: K						0,11	0,11

K max Admisible s/ IRAM 11605 (1996)	Recomendado	Verano	Invierno
Verifica Si	Nivel A	0,19	0,32
	Medio Nivel B	0,48	0,83

Fig. 5: Cálculo de Inercia térmica de la losa. (Yael L. García, PPA)

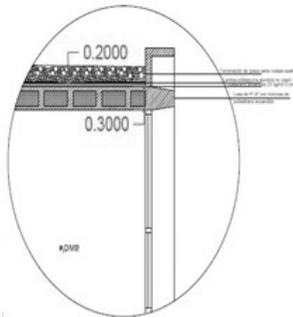


Fig. 6: Corte esquemático de la losa (Yael L. García, PPA)

Transmitancia térmica total $K = 0,11$, Recomendado por Norma Iram = $0,48$ para un nivel medio de confort.

Medición de la Temperatura y la Humedad del aire interior

Se han colocado instrumentos de medición en distintos locales del interior del edificio, a modo de ejemplo se presentan las mediciones del taller N2 que se encuentra en la planta baja y del Auditorio Amarillo de la planta alta del ala norte.

Como se puede observar en los gráficos 7, 8, y 9, la temperatura interna en algunos momentos supera los $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, por encima del confort higrotérmico, ($24\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $28\text{ }^{\circ}\text{C}$), produciendo incomodidad en la realización de la actividad educativa.

Movimiento de aire interior

No hay Ventilación Cruzada, solo ventilación directa sobre la fachada norte

Nivel de Satisfacción: Se necesitó colocar cortinas interiores.

c. Condiciones visuales interiores

Cálculo de nivel de iluminación interior artificial.

Se ha calculado el flujo de iluminación necesario para la actividad del recinto y compararlo según la cantidad de artefactos que posee para verificar si se dan las condiciones de iluminación óptimas según las normas IRAM AADL J20-06.

Superficie del local = $137,64\text{ m}^2$. E (necesaria) = 500 lux (según normas IRAM AADL J20-06, actividad aula.)

Cantidad de flujo luminoso necesario para cubrir $E = 500\text{ lux}$ 92696 lm

Cantidad de artefactos = 12

\varnothing lámpara = 5550 lm $5550\text{ lm} \times 12 = 66600\text{ lm}$

La cantidad de lámparas no cubre el flujo de luminoso necesario de 192696 lm .

d. Condiciones acústicas interiores

Nivel de Ruido interior: Voces altas y ruidos molestos a puertas abiertas, leve murmullo a puertas cerradas.

e. Calidad del aire interior.

Olores: no se detectan

Hongos, moho, fuentes de combustión, el uso de ciertos materiales de construcción de terminación productos de limpieza o actividades interiores:

No se detectan.

f. Fuente de energía.

Ala Norte

Energía Eléctrica

En los talleres no existen sistemas de refrigeración, si, poseen calefactores a gas. La biblioteca y los Auditorios que se encuentran en la planta alta, cuentan con aparatos de aire acondicionado.

Corresponde a los horarios de funcionamiento de los locales que poseen los sistemas.

Biblioteca: Lunes a viernes de 8,00 hs a 18 hs.

Auditorios: de martes a viernes, la mayoría de las actividades comienzan a la 8,00 hs, y con leves descansos, se extienden: los viernes y miércoles hasta las 19,30 hs, los jueves hasta la 22,00 hs, los martes hasta las 20,30 hs.

No se ha detectado el uso eficiente de los aparatos, ya que en ciertas ocasiones se han encontrado los aparatos encendidos cuando no había actividad.

Consumo de Energía Eléctrica.

A modo de ejemplo se muestra el consumo de energía en el ala norte durante una semana. Se puede observar en el gráfico 8a, la semana en que se detectaron mayores temperaturas.

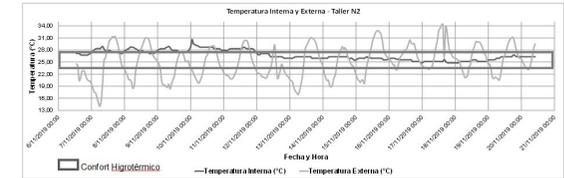


Fig. 7: Medición de las condiciones higrotérmicas interiores del aula N2, y comparación con las condiciones del clima del lugar, período 6 al 21 de noviembre de 2019. Fuente elaboración propia en base a datos del (Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotecnia-CIAL- FAUD UNC. Estación Meteorológica CIAL – UNC- Córdoba-Argentina.

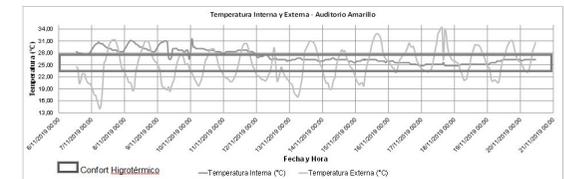


Fig. 8 Medición de las condiciones higrotérmicas interiores del Auditorio Amarillo, y comparación con las condiciones del clima del lugar, período 6 al 21 de noviembre de 2019. Fuente elaboración propia en base a datos del (Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotecnia-CIAL- FAUD UNC. Estación Meteorológica CIAL – UNC- Córdoba-Argentina.

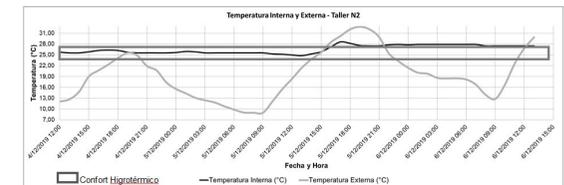


Fig. 9: Medición de las condiciones higrotérmicas interiores del aula N2, y comparación con las condiciones del clima del lugar, período 4 al 6 de diciembre de 2019. Fuente elaboración propia en base a datos del (Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotecnia-CIAL- FAUD UNC. Estación Meteorológica CIAL – UNC- Córdoba-Argentina.

Día	Domingo 10-11-19	Lunes 11-11-19	Martes 12-11-19	Miércoles 13-11-19	Jueves 14-11-19	Viernes 15-11-19	Sábado 16-11-19
Consumo	2,76 kW	26,64 kW	39,86 kW	54,02 kW	46,32 kW	49,75 kW	19,92 kW
máx.	22,45 hs	18,45 hs	19,15 hs	19,30 hs	18,30 hs	18,45 hs	10,30 hs
Consumo	0,10 kW	1,78 kW	4,25 kW	6,74 kW	8,06 kW	4,44 kW	7,01 kW
min.	11,30 hs	08,15 hs	03,45 hs	05,15 hs	23,45 hs	08,00 hs	18,30 hs
Consumo medio	1,98 kW	11,20 kW	15,18 kW	20,82 kW	22,27 kW	14,60 kW	9,46 kW
Obs.							

Tabla 1. Consumo de la Energía Eléctrica en el Ala Norte FAUDI. Semana del 10 al 16 de noviembre de 2019 (Elaboración propia en base a datos de consumo, del Laboratorio de Baja Tensión de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C).

Día	Domingo 1-12-19	Lunes 2-12-19	Martes 3-12-19	Miércoles 4-12-19	Jueves 5-12-19	Viernes 6-12-19	Sábado 7-12-19
Consumo	12,07 kW	40,92 kW	48,58 kW	27,24 kW	25,22 kW	23,06 kW	23,18 kW
máx.	15,00 hs	16,30 hs	15,15 hs	20,45 hs	12,45 hs	11,00 hs	09,15 hs
Consumo	9,05 kW	2,83 kW	2,59 kW	2,86 kW	10,34 kW	7,63 kW	3,89 kW
min.	05,30 hs	23,45 hs	02,15 hs	05,15 hs	02,45 hs	07,15 hs	13,45 hs
Consumo medio	9,96 kW	14,14 kW	15,71 kW	11,29 kW	15,97 kW	13,24 kW	9,37 kW
Obs.		Exámenes					

Tabla 2. Consumo de la Energía Eléctrica en el Ala Norte FAUDI. Semana del 1 al 7 de diciembre de 2019. (Elaboración propia en base a datos de consumo del Laboratorio de Baja Tensión de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C).

El día miércoles 13 de noviembre a las 19:30 hs. se presenta el pico máximo de consumo en la semana.

El día domingo 10 de noviembre a las 11:30 hs. se presenta el pico mínimo de consumo en la semana.

El día jueves 14 de noviembre fue el día de mayor consumo promedio. El día 16 de noviembre se registró una temperatura máxima de 32° C

El día domingo 10 de noviembre fue el día de menor consumo promedio.

El consumo promedio de la semana fue de 13,56 kW.

El día martes 3 de diciembre a las 15:15 hs. se presenta el pico máximo de consumo en la semana.

El día martes 3 de diciembre a las 02:15 hs. se presenta el pico mínimo de consumo en la semana.

El día martes 3 de diciembre fue el día de mayor consumo promedio.

El día sábado 7 de diciembre fue el día de menor consumo promedio.

El consumo promedio de la semana fue de 12,81 kW.

Se comparó en el próximo gráfico (fig. 10) los picos máximos con las condiciones atmosféricas en el mismo instante con el objetivo de determinar si el consumo tiene correspondencia con el estado atmosférico.

Se puede observar en el gráfico 10, a primera vista que la curva de consumo casi, acompaña a la que muestra las temperaturas máximas del día en cuestión.

Otro parámetro a considerar es la relación de los consumos por hora en relación al momento de uso.

A modo de ejemplo se muestra el consumo por hora, se puede observar que los máximos consumos se dan en las horas de uso. (fig. 11)

Por lo visto hasta ahora el máximo consumo se verifica por el uso del edificio y no tanto por las condiciones atmosféricas.

g. Consumo de agua.

El edificio cuenta con instalaciones de menos de 10 años, y se ha instalado grifería que cuenta con dispositivos de ahorro.

El uso y los usuarios:

El edificio se usa de acuerdo a la función por la cual fue diseñado.

h. Generación de residuos

La Facultad implementó un programa de separación de los residuos.

i. Transporte público y privado.

El edificio se encuentra ubicado en la Ciudad Universitaria, ésta cuenta con una vasta red de transporte público, el transporte privado cuenta con playas de estacionamiento.

j. Accesibilidad

El edificio cuenta con rampas de acceso, ascensores y sanitarios adaptados para personas que se trasladan en sillas de ruedas, este ítem todavía no fue analizado en profundidad.

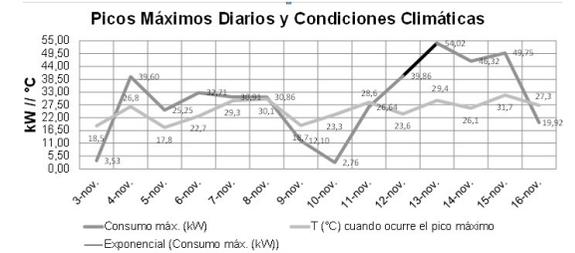


Fig. 10: Comparación de los picos máximos de consumo registrados y las condiciones atmosféricas en tiempo real. (Elaboración propia en base a datos del Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotecnias-CIAL- FAUD UNC. Estación Meteorológica CIAL – UNC- Córdoba-Argentina y los datos de consumo del Laboratorio de Baja Tensión de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C).

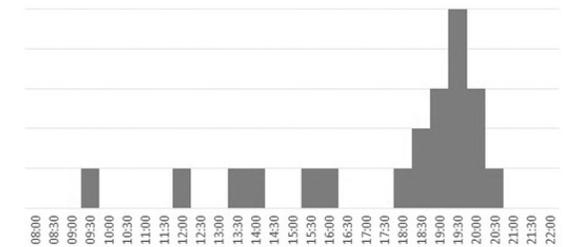


Fig. 11: consumos horarios de un día cualquiera en el ala norte. (Elaboración propia en base a datos de consumo, elaborados por Laboratorio de Baja Tensión de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C).

Conclusiones

A modo de conclusión, para el ejemplo analizado, edificio de la facultad de arquitectura, pueden establecerse las siguientes observaciones.

- Desde el punto de vista del proyecto se encuentra, que si bien, las losas cumplen con las condiciones de inercia térmica, no ocurre lo mismo con la envolvente de vidrio. Por otra parte la orientación no es la más adecuada para la latitud donde se ubica el edificio.
- Respecto del uso, se puede encontrar que los valores de temperatura medidos en algunos locales, superan los valores de confort recomendados. Esto lleva a mayores consumos de energía para refrigerar el lugar o el uso de cortinados que amortigüen la incidencia de los rayos del sol.
- El uso de energía eléctrica tiene picos con las horas de mayor uso del edificio lo que indica que en general no se gasta energía en horas sin ocupación efectiva.
- El uso del agua se ha racionalizado mediante el empleo de dispositivos de ahorro y sus instalaciones son relativamente recientes.
- Las restricciones para las personas con dificultad de movilidad, han sido tenidas en cuenta y se han subsanado con rampas y servicios sanitarios acordes, por ejemplo.
- Las autoridades de la Facultad han establecido un sistema de separación de residuos adecuado lo que redundará en una mejor disposición final de los mismos.
- El edificio se utiliza para los fines de proyecto y su conectividad con el resto de la trama urbana es adecuado.

Bibliografía

Norma IRAM 11603

Norma IRAM 21929-1 “Construcción sostenible, Indicadores de Sustentabilidad”

Sistema de Gestión de la Energía Eléctrica, Laboratorio de Baja Tensión de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C

(Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotecnias-CIAL- FAUD UNC. Estación Meteorológica CIAL – UNC- Córdoba)

« SOBRE LA CONSTRUCCIÓN Y LAS TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES »



**GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA EN
SUELOS LOÉSSICOS Y SU APLICACIÓN
EN VIVIENDAS**

Autores:

Magalí Carro Pérez E.

Micaela Pleitavino

Belén Mansilla

Agustina Peiretti

Marcela A. Cioccale

Franco M. Francisca

Introducción: Eficiencia energética y energías renovables en construcciones

Es indiscutible el incremento de la demanda energética en el mundo, tanto por el crecimiento de las industrias como por mejorar las condiciones de confort de los habitantes. Esta demanda es en gran parte satisfecha por los combustibles fósiles, los cuales son finitos y generan impactos ambientales a gran escala.

Es menester entonces la necesidad de búsqueda e implementación del uso de energías renovables. En nuestro país, en las últimas décadas se ha observado un crecimiento del consumo de energía como consecuencia de las actividades económicas, el crecimiento poblacional y el aumento de las exigencias de confort (Ferrari y Frezzi, 2013) y en particular, según Iannelli y Gil (2012), un 15% del consumo energético total de nuestro país se emplea para acondicionamiento térmico de las viviendas.

Desde hace ya varios años que se argumenta que para que el desarrollo sea sostenible, se debe actuar sobre las construcciones civiles a través de nuevos sistemas alternativos de usos de energía renovable, con diseños específicos que aseguren la mínima pérdida de energía. Alavedra y equipo (1997) manifestaban, hace ya décadas atrás, que para considerar una construcción sostenible y tener un uso eficiente de la energía se debe tener en cuenta en la construcción de las viviendas: un diseño bioclimático y la correcta orientación solar, aislamientos y protecciones contra la radiación solar en fachadas y cubierta, un buen uso de luz y ventilación natural, la utilización de equipos y sistemas que sean eficientes energéticamente y la incorporación de energías renovables. La aplicación de sistemas energéticos pasivos es una de las alternativas más eficientes, económicas y ambientalmente sostenibles para lograr la situación de confort deseado dentro de las construcciones y disminuir el gasto de energía no renovable.

Las energías renovables son aquellas que utilizan una fuente natural estimadamente inagotable y entre ellas se encuentran la energía solar, mareomotriz, eólica y geotérmica. En la actualidad, las fuentes eólicas y solar son las primeras en ser consideradas en los nuevos proyectos, pero la disponibilidad, accesibilidad y mejoras tecnológicas posiciona a la energía geotérmica como la fuente de mayor potencial.

La provincia de Córdoba, especialmente su región extra-serrana oriental presenta condiciones geológicas y geomorfológicas con potencial aprovechamiento de energía geotérmica

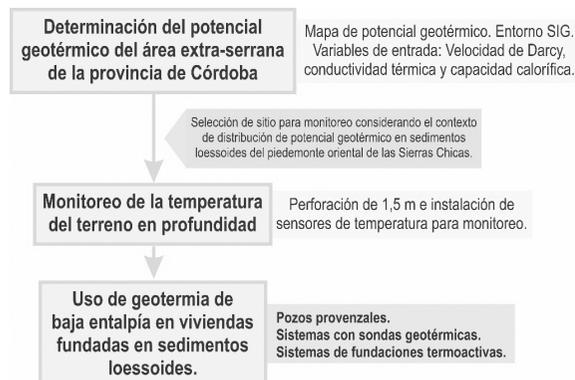


Figura 1. Esquema metodológico.

somera o de baja entalpía.

En este sentido, se establecen como objetivos caracterizar el terreno según su potencial geotérmico somero en la llanura oriental de la provincia de Córdoba con el fin de identificar áreas idóneas para su aprovechamiento; a partir de éste, determinar un sitio para evaluar las variaciones estacionales y diarias en un espesor de suelo, establecer el intercambio de calor y su vinculación con la temperatura atmosférica; y por último, brindar opciones de utilización de geotermia de baja entalpía como fuente o sumidero de energía en viviendas fundadas en sedimentos loessoides.

Metodología

La secuencia de trabajo se realizó en tres etapas y escalas diferentes, cada una de ellas abordada por medio de diferentes metodologías. En la Figura 1 se puede apreciar el esquema de trabajo y las metodologías utilizadas.

Geotermia de muy baja entalpía

La energía geotérmica es aquella almacenada debajo de la superficie terrestre. La palabra geotermia deriva de las palabras griegas geo (tierra) y termo (calor), y la combinación de ambos significados infiere al calor de la tierra (Quick et al., 2013). La energía geotérmica es la energía almacenada en el subsuelo y de acuerdo a su entalpía se pueden clasificar en energía geotérmica muy baja, baja, media o alta (Xydis et al., 2013). Es una fuente de energía renovable, casi infinita, independiente de las fluctuaciones estacionales o condiciones climáticas (Bonté et al., 2012) y es una energía ubicua.

La energía geotérmica de muy baja entalpía es la que se puede aprovechar para la climatización de construcciones mediante el empleo de bombas de calor geotérmicas (Fu et al., 2013) y/o sistemas pasivos. En los últimos 20 años las investigaciones en esta área se han propagado en diferentes lugares del mundo con múltiples resultados (Adaro et al., 1999; Sanner, 2001; Lund et al., 2005; Yun y Santamarina, 2008; Iannelli y Gil 2012; Fu et al., 2013; Hähnlein et al. 2013; Alcaraz et al., 2016; Bayer et al., 2019).

Este recurso se encuentra almacenado en los primeros metros por debajo de la superficie del terreno. La tierra se comporta como un gran acumulador de energía (Iannelli y Gil, 2012).

Esto es posible debido a sus propiedades térmicas, ya que el subsuelo tiene, en promedio, una capacidad calorífica alta y una conductividad térmica baja, permitiendo una penetración lenta de las ondas de calor en el suelo y acumulándolo. Las variaciones climáticas diurnas no penetran más allá del primer medio metro, alcanzando las variaciones estacionales a los primeros metros del subsuelo. A profundidades mayores, desaparece la influencia climática y se hace presente un gradiente geotérmico, que, en promedio, ronda los 25-30 °C/km. Particularmente, cada tipo de suelo tendrá un comportamiento térmico diferente dependiendo de sus características. El tipo de material geológico que lo conforma, junto a la porosidad y el grado de saturación, condicionan sus propiedades térmicas, y por lo tanto su respuesta ante las variaciones climáticas.

Potencial geotérmico de la zona extraserrana de la provincia de Córdoba, Argentina.

La provincia de Córdoba, ubicada en el sector central de Argentina, se diferencia en dos regiones geomorfológicas de primer orden: Sierras Pampeanas y Llanura Chacopampeana (Área extraserrana oriental). Dentro del área de Llanura, se diferencian cuatro ambientes mayores: Depresión tectónica de la laguna de Mar Chiquita, Planicie fluvioeólica central, Planicie arenosa eólica del sur y Ambientes pedemontanos. Estos ambientes se caracterizan por la presencia de morfologías vinculadas principalmente a la sedimentación cenozoica, con predominio de depósitos de sistemas fluviales y aluviales efímeros y depósitos eólicos, mayormente loésicos (Carignano et al, 2014). Los sistemas hidrogeológicos de la provincia responden a la geomorfología y estructura del paisaje (Blarasin et al., 2014). El área objeto de estudio corresponde al sistema de llanura del E de la Provincia. El acuífero libre es de espesor variable y se encuentra vinculado a sedimentos fluviales y eólicos cuaternarios, teniendo la mayor potencialidad en fajas fluviales y abanicos periserranos (Blarasin et al., 2014). La piezometría de referencia utilizada para el cálculo de potencial geotérmico corresponde al año 2013, y pertenece al proyecto PID 35/08 “Dinámica, calidad y reservas de aguas subterráneas de la provincia de Córdoba: potencialidad para usos productivos y sociales” de Blarasin et al. (2014), así como las descripciones de la litología de cada unidad.

Conocer la disposición de los acuíferos, su composición y propiedades térmicas es fundamental para realizar una primera aproximación en relación a la cuantificación y distribución espacial del potencial geotérmico disponible en una región a partir de la confección de ma-

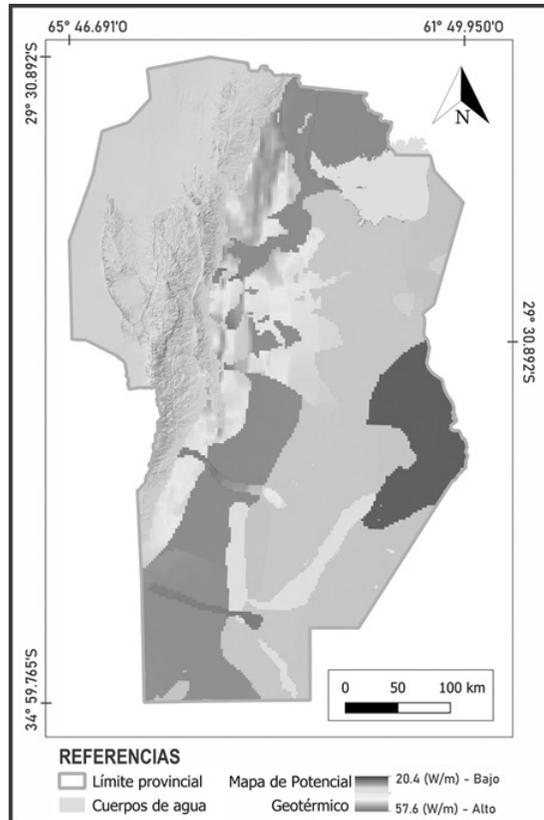


FIGURA 2: Mapa de potencial geotérmico estimado para la provincia de Córdoba, Argentina.

pas geotérmicos. Estos mapas permiten conocer la cantidad de energía disponible para cada zona, brindando soporte en las decisiones vinculadas al manejo y utilización de este tipo de recurso. Diferentes metodologías y supuestos pueden ser utilizados para la determinación de mapas de potencial. Alcaraz et al. (2016) proponen una metodología para calcular mapas de potencial geotérmico del terreno y sus impactos ambientales asociados, a partir de la utilización de álgebra de mapas en formato ráster en un entorno GIS, facilitando el manejo a escala regional. Además, son los primeros en considerar en el cálculo los mecanismos de transporte de calor por advección y dispersión y el efecto de la evolución temporal desde el inicio de la colocación de sondas geotérmicas verticales (Borehole Heat Exchanger: BHE). La metodología propuesta por Alcaraz et al. (2016), utiliza como datos de entrada diferentes propiedades del acuífero: la velocidad del agua subterránea (velocidad de Darcy), la conductividad hidráulica y las propiedades térmicas de éste en función de los materiales presentes. Estas variables definen el comportamiento térmico del acuífero mediante la expresión (Molina-Giraldo et al., 2011) considerando advección, dispersión y difusión en los mecanismos de transferencia de calor en el acuífero:

$$\Delta T(x, y, t) = \frac{qL}{4\pi\sqrt{\lambda_x\lambda_y}} \exp\left[\frac{\rho_w c_w v_t x}{2\lambda_x}\right] \int_0^{\frac{(\rho_w c_w)^2 t}{4\rho c \lambda_x}} \exp\left[-\phi - \left(\frac{x^2}{\lambda_x} + \frac{y^2}{\lambda_y}\right) \frac{(\rho_w c_w v_t^2)}{16\lambda_x \phi}\right] d\phi$$

donde $\Delta T(x, y, t)$, es la variación térmica en la posición x , y y en el tiempo t ; qL es la tasa de calentamiento por longitud de la fuente de calor (W/m); $\lambda_x \lambda_y$ es la conductividad térmica efectiva en las direcciones longitudinal y transversal (W/m.K); $\rho_w c_w$ es la capacidad calorífica volumétrica específica del agua (J/kg.K); v_t es la velocidad del agua subterránea (m/s) o velocidad de Darcy; ϕ la variable de integración.

Posteriormente, Alcaraz et al. (2019) realizaron mapas de potencial geotérmico y mapas de los impactos termales asociados con el subsuelo modificado por la utilización de este recurso, para distintos sitios de países de Latinoamérica y España. De Alcaraz et al. (2019) se deriva el mapa de potencial geotérmico para el sector extraserrano de la provincia de Córdoba (Figura 2). El potencial geotérmico somero se obtuvo asumiendo que un incremento máximo de temperatura de 10°C está permitido a 1 m del BHE. Para este sector, se obtuvieron valores mínimos y máximos del potencial energético iguales a 20.4 y 57.6 W/m. Estos valores están fuertemente condicionados por la velocidad de Darcy, por lo que la estimación

de esta variable se vuelve crucial para una obtener valores de potencial que se ajusten a la realidad (Alcaraz et al., 2019). Los valores más altos están asociados a granulometrías más gruesas y pendientes mayores (velocidades de flujo más altas), por lo que éstos valores se hacen presentes en el sector adosado a la sierra y en los abanicos aluviales arenosos. Los valores más bajos se asocian a los sectores de escasa pendiente, con presencia de una granulometría más fina. Es esperable que, en el sector este, donde los valores de potencial son menores, el impacto térmico que se produzca en los acuíferos sea mayor luego de implementados los sistemas de aprovechamiento geotérmico.

Investigaciones sobre geotermia de baja entalpía en suelos loésicos

En la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFYN) de la Universidad Nacional de Córdoba se están desarrollando investigaciones tendientes a ampliar el conocimiento de la geotermia de baja entalpía en suelos loésicos. Para ello, se han realizado investigaciones sobre la conductividad térmica y otras propiedades de los suelos loésicos, el cálculo de conductos de sistemas pasivos de climatización, medición de la variación de temperaturas en profundidad en los suelos limosos del centro de Argentina y corroboración de datos en relación a las propiedades térmicas de estos suelos bajo diferentes condiciones de humedad y densidad y el mapeo del potencial geotérmico de la zona.

Conductividad térmica y propiedades en loess

Costantini y colaboradores (2016) midieron conductividad térmica, entre otras propiedades, en muestras de loess y en mezclas de suelo cemento para realizar predicciones de eficiencia energética en construcciones reemplazando el material de la envolvente por mampuestos de suelo cemento. Se tomaron registros de temperatura y humedad en el ambiente para efectuar un estudio energético. Los resultados obtenidos permitieron cuantificar el ahorro energético que podría lograrse por la sustitución de la envolvente y demostrar, al mismo tiempo, que los mampuestos de suelo-cemento mejoran las condiciones de confort térmico de las edificaciones. Por otro lado, también Pleitavino y colaboradores (2019) realizaron estudios comparativos de conductividad térmica de suelo cemento y rocas para uso de geotermia de baja entalpía.

Cálculo de conductos en suelos loésicos

Peiretti. (2017) y Carro Pérez et al. (2018) realizaron el cálculo y diseño para un caso de estudio de en el centro de la Argentina, en base a las características térmicas de los parámetros intervinientes, tanto del suelo y clima local como de los materiales de la envolvente de la construcción. Determinaron, mediante balances térmicos, el análisis energético y económico que produce la aplicación de un sistema de geotermia de baja entalpía. Los resultados obtenidos son satisfactorios, ya que la implementación de este tipo de sistema presenta una solución económica y energéticamente eficiente.

Medición de temperatura en subsuelo

Con el objetivo de un correcto aprovechamiento del subsuelo como recurso geotérmico para fines de acondicionamiento, es fundamental el conocimiento de las propiedades térmicas del terreno; así, será posible prever los dispositivos y dimensionamiento adecuados según las condiciones del entorno. En profundidad, la temperatura terrestre es relativamente estable todo el año; a partir de cierto punto la radiación solar no influye en la temperatura interna de la tierra manteniéndose muy cercana a la media de la zona (aproximadamente 10-15 metros dependiendo la zona). Sin embargo, los primeros metros sí están afectados por la temperatura ambiente; es posible analizar la influencia de un ciclo diurno en profundidad limitándose aproximadamente a 0,5 metros. El subsuelo tiene una capacidad calorífica alta, es decir, es un buen acumulador de calor; a su vez, tiene una baja conductividad térmica, lo que hace que la penetración del calor o su enfriamiento sea lento (Iannelli y Gil, 2012). Cada tipo de suelo tendrá un comportamiento térmico diferente dependiendo de sus características. Lo más crítico será la composición y textura de las partículas que conformen el suelo ya que condiciona su conductividad térmica. La conductividad térmica de los suelos también dependerá de su porosidad y grado de saturación.

En la FCEFyN se están obteniendo los primeros resultados a partir del monitoreo de temperaturas a distintas profundidades, a lo largo de un perfil de suelo limoarenoso. Se realizó una perforación de 1,5 metros de profundidad y 0,20 m de diámetro, en una zona del terreno con baja o nula pendiente, y con incidencia de radiación solar máxima (sin influencia de sombras en el perímetro), en la que se colocaron sensores de temperatura dispuestos de la siguiente manera: uno muy próximo a la superficie (0,05 m), y el resto con un espaciamiento

de 0,3 m hasta la profundidad máxima del pozo (cotas 0,3 m, 0,6 m, 0,9 m, 1,2 m y 1,5 m) (Figura 3). La perforación se rellenó con el mismo suelo extraído. La tasa de medición utilizada para el registro de temperaturas fue cada 15 minutos. Se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0.3, 0.6 y 0.9 cm para la realización de ensayos de identificación (determinación de humedad natural: 30 cm: 13.6%, 60 cm: 12.1%, 90 cm: 12.5%; granulometría por tamices: 30 cm: 11% arcilla, 83% limo, 7% arena, 60cm: 10% arcilla, 64%limo, 26% arena, 90cm: 11% arcilla, 68% limo, 21% arena, norma IRAM 1501 ; granulometría por hidrómetro, norma IRAM 10515 ; límites de consistencia, 30cm WL: 27.1%, Índice de plasticidad: 4.4%, 60cm WL: 21.7%, Índice de plasticidad: 2.8%, 90cm WL: 21.1%, Índice de plasticidad: 2.3%, norma IRAM 10515). En la Figura 4 se presenta la variación de la temperatura durante un día para cada profundidad. Los cambios de temperatura diarios en el perfil son visibles hasta los 30 cm de profundidad. Otro punto a destacar es la capacidad de almacenamiento de este material, que se observa claramente entre las curvas de temperatura ambiente y la de 5 cm de profundidad. La temperatura ambiente entre las 7 am y 12 am crece de manera muy pronunciada, estancándose casi durante el resto del día, sin embargo, la curva de cinco cm de profundidad a pesar de este cese de aumento de temperatura sigue creciendo; esto indica una acumulación de calor en la parte más superficial del subsuelo. Durante las horas nocturnas, también se observa cómo los centímetros superficiales son capaces de almacenar la temperatura diurna, manteniéndose siempre la curva de 5 cm por encima de la temperatura ambiente, liberando el calor almacenado en el día de manera gradual. Se hace notar que la curva de 30 cm de profundidad está desfasada con la de 5 cm, es decir que en el momento en que la temperatura es máxima a los 5 cm, es mínima a los 30; es decir, existe un retardo de aproximadamente un día entre el máximo (o mínimo) en cada punto. A partir de los 60 cm ya no se observa variación a lo largo del día. Además, se aprecia cómo a medida que aumenta la profundidad, la temperatura es menor, existiendo un salto térmico entre el metro veinte y metro cincuenta, de aproximadamente 2°C.

Actualmente se realizan cálculos y mediciones para determinar la difusividad térmica del material de estudio y se construye una perforación de 20 m de profundidad para ser monitoreada.

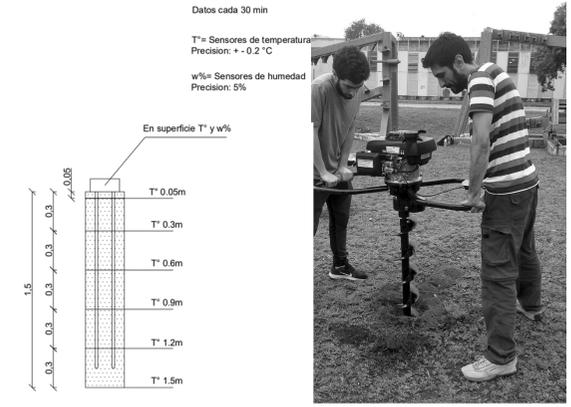


FIGURA 3: Construcción de la perforación en suelo loésico y configuración técnica.

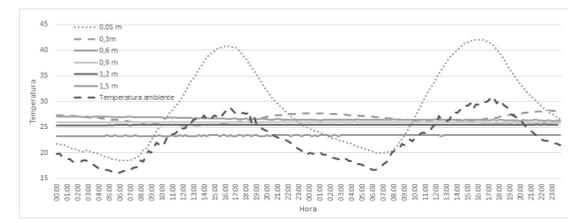


FIGURA 4: Temperatura según la profundidad durante un día de verano

Utilización de geotermia de baja entalpía en viviendas

Existen diferentes aplicaciones en viviendas de la geotermia de baja entalpía: las instalaciones conocidas como pozos canadienses o provenzales o bien el aprovechamiento de este tipo de energía a través de sondas geotérmicas y bomba de calor o pilotes para la refrigeración de los ambientes.

Pozos provenzales o canadienses

Es un sistema que se utiliza para aprovechar la energía geotérmica de baja entalpía. Este tipo de instalación aprovecha las temperaturas estables de la capa superficial de la tierra para que, por medio de un intercambio de calor, se logre proveer aire caliente en invierno y frío en verano. Este sistema consiste en tubos enterrados a una profundidad que varía desde 1,5 a 5 metros, logrando así, que las paredes de los ductos estén a la misma temperatura de la del subsuelo. El intercambio de calor se produce cuando el aire exterior que se encuentra a mayor o menor temperatura que la del subsuelo, dependiendo la época del año, entra en contacto con las paredes de los ductos y se produce así un equilibrio entre las temperaturas. Finalmente, ese aire se hace circular dentro de la vivienda, con un aporte térmico adicional, si fuese necesario.

La configuración depende de la cantidad de tubos enterrados y su posición, la cual está influenciada por el espacio disponible y la longitud necesaria de los tubos para poder generar el intercambio de calor preciso. Dentro de las variadas configuraciones, se van a nombrar tres, que son las más habituales:

- Anillo (directos aislados): se utilizan generalmente en viviendas familiares y/o pequeñas construcciones. Este diseño se lo encuentra rentable económicamente, ya que consiste en poder utilizar las excavaciones existentes al momento de la construcción. Consiste en un tubo enterrado alrededor de la vivienda.

- Rejilla (distribución Techelmann): Este tipo de configuración se utiliza cuando la longitud total de los tubos es muy grande y no se dispone del espacio necesario para su distribución.

- Bloque – Rejilla (Bloque Techelmann): este sistema es una combinación de los métodos Anillo – Rejilla. Se utilizan cuando el espacio disponible es limitado. Consiste en varias capas de tubos enterrados en forma de rejilla.

Los elementos principales de las configuraciones anteriores son:

Punto de captación de aire: por donde ingresa el aire del exterior. Es un punto que se encuentra a una altura de aproximadamente 1 metro sobre la superficie, para evitar el ingreso de aire contaminado. Generalmente cuenta con una rejilla al inicio de tubería, para imposibilitar el acceso de animales o insectos.

Intercambiador de calor: compuesto por los tubos enterrados, elementos donde se produce la transferencia de calor, debido a la diferencia de temperatura. El cálculo de su dimensión está relacionado al material de los tubos, el PVC es el más utilizado, aunque se pueden utilizar otros materiales que sean favorables por su conductividad térmica.

Además, intervienen la profundidad, naturaleza de terreno y su humedad, velocidad del aire dentro del tubo, entre otras.

Elemento de circulación: Es el encargado de hacer circular el aire dentro de los tubos, a una velocidad suficiente para permitir el intercambio de calor necesario.

Punto de drenaje: Es necesario para evitar la acumulación de agua debido a posibles condensaciones dentro del tubo. Se recomienda una pendiente de 2% a 5%.

Sistemas con sondas geotérmicas

Las bombas de calor transfieren la temperatura desde la tierra a la superficie a climatizar en invierno e invierten el funcionamiento en verano, manteniendo así la temperatura de confort deseada en el hábitat. La bomba de calor geotérmica es un dispositivo eléctrico, que, mediante un circuito frigorífico dotado de 2 intercambiadores de calor de alta eficiencia construidos en acero inoxidable, y un compresor de alta eficiencia controlan las funciones que el usuario le solicita al controlador. Una sonda geotérmica es el captador que está constituido por tuberías plásticas de alta resistencia y gran duración producidas en fábrica de una sola pieza. Por estas tuberías circula el agua o la solución acuosa (agua con anticongelante) que facilitará el intercambio de calor con el terreno. Existen distintos tipos de sonda según las condiciones del terreno y de intercambio. Pueden ser verticales, horizontales, lineales y/o en espiral. A partir de estos sistemas se puede obtener tanto agua caliente sanitaria como la producción de calefacción y aire acondicionado. El número de perforaciones estará en función de los requisitos energéticos de la casa o edificio. Cuanto mejor aislada esté, menor será la necesidad de

calefacción y menor será el número de perforaciones. En instalaciones verticales las tuberías suelen ir enterradas a una profundidad de entre 50 y 150 metros (CIATEMA, 2010).

Sistemas de fundaciones termoactivas.

El aprovechamiento de la energía geotérmica también se puede realizar a través de pilotes o cimentaciones termoactivas hormigonadas in situ o bien prefabricados hincados donde cumplen la doble función de cimentación y de colectores o transmisores de energía. Se instalan cañerías embebidas en el hormigón de las estructuras enterradas, como pilotes, muros de diafragma, losas de cimentación o muros de contención. El sistema se emplea en calefacción y refrigeración, transportando la energía térmica del terreno a una bomba de calor, o de ésta al terreno.

Conclusiones

Los avances tecnológicos actuales generan nuevos desafíos y oportunidades. La generación de energía geotérmica presenta un muy alto potencial de desarrollo en todo el mundo y la región Pampeana no es una excepción. Las características del terreno y propiedades físicas y térmicas de los loess pampeanos del centro de Argentina generan oportunidades para poder aprovechar esta fuente de energía limpia para el acondicionamiento térmico de construcciones. Los mapas de potencial geotérmico desarrollados para la provincia de Córdoba muestran que en todo el territorio una fracción importante del consumo de energía podría reducirse si se aprovechara la geotermia como energía alternativa.

Bibliografía

Adaro, J. A., Galimberti, P. D., Lema, A. I., Fasulo, A., & Barral, J. R. (1999). Geothermal contribution to greenhouse heating. *Applied Energy*, 64(1-4), 241-249.

Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. (1997). La construcción sostenible: el estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 49(451), 41-47.

Alcaraz M., Vázquez-Suñé E., Pleitavino M., Scheiber L., Rivera González O. D., Villacreses G., Aravena D., Moreno D., Pedro A., Samaniego L., Ramos A., Carro Pérez M., Morrillón D., Blessent D., Daniele L., Ramos J., Macías J., 2019. Ibero-American Atlas of Shallow Geothermal Energy by RIGS-CYTED. AGU 2019, organizado por la American Geoscience Union. December 9-13th, 2019, San Francisco, EEUU. Poster presentation.

Alcaraz M., Gil S., Blessent D., Lopez Sanchez I. J., Lloret A., Daniele L., Scheiber L., Blanco G., Carro Pérez M., Morrillón D., Suardíaz J., Gamazo P., 2019. Ibero-American Network for Shallow Geothermal Energy. AIH 2019, organizado por la Asociación Internacional de Hidrogeología. September 22-27th, 2019, Málaga, España.

Alcaraz, M., García-Gil, A., Vázquez-Suñé, E., & Velasco, V. (2016). Advection and dispersion heat transport mechanisms in the quantification of shallow geothermal resources and associated environmental impacts. *Science of the total Environment*, 543, 536-546.

Alcaraz, M., García-Gil, A., Vázquez-Suñé, E., & Velasco, V. (2016). Use rights markets for shallow geothermal energy management. *Applied energy*, 172, 34-46.

Bayer, P., Attard, G., Blum, P., & Menberg, K. (2019). The geothermal potential of cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 106, 17-30.

Bidarmaghz, a., Makasis, n., Narsilio, G. A., Francisca, F. M., & Carro Pérez, M. E. (2018). Geothermal energy in loess. Chapter 1. *ICE Themes Geothermal Energy, Heat Exchange Systems and Energy Piles*. Craig, W., & Gavin, K. (Eds.). (2018). *ICE Themes Geothermal Energy, Heat Exchange Systems and Energy Piles*. ICE Publishing. Edited by William Craig and Kenneth Gavin. ISBN 978- 0- 72777-6398-3 pg. 3-21.

Blarasin, M., Cabrera, A., & Matteoda, E. (2014). Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba. *UniRío*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.

Bonté, D., Van Wees, J. D., & Verweij, J. M. (2012). *Subsurface temperature of the onshore Netherlands: new temperature dataset and modelling*. *Netherlands Journal of Geosciences*, 91(4), 491-515.

Brandl, H. (2006). *Energy foundations and other thermo-active ground structures*. *Géotechnique*, 56(2), 81-122.

Carignano, C. A., Kröhling D., Degiovanni S., & Cioccale, M. A. (2014). *Geomorfología*. En: Martino, R. y Guerreschi, B. (eds.): *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de La Provincia de Córdoba*. Asociación Geológica Argentina. ISBN 978-987-22403-8-7. p 747-821. Córdoba 2014.

Carro Pérez M.E.; Peirett A.I.; Francisca F.M.(2018) *Energía geotérmica de baja entalpía en suelos loésicos: cálculo y diseño para caso de estudio*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*. Vol. 22, pp 04.23-04.34, 2018. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433

Carro Pérez, M. E. (2019) *Geotermia de baja entalpía en suelos loésicos: eficiencia, conductividad térmica y configuraciones*. *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Ingeniería sostenible*. - CLADI 2019 Cartagena – 11 al 13 de setiembre de 2019.

CIATEMA consultado el 29/02/2020: <https://ciatema.com.ar/climatizacion-geotermica/>

Costantini A.B.; M.E. Carro Pérez; F.M. Francisca (2016) *Evaluación del comportamiento térmico de una edificación reemplazando el material de la envolvente por suelo-cemento*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)* Vol. 20, pp 05.33-05.43, 2016. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433

Ferrari C. y Frezzi P. (2013). *Modelo de crecimiento del sistema eléctrico de la provincia de Córdoba Período 2010-2040 en Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba*. Ed. Devalis.

Florides, G. A., & Kalogirou, S. A. (2005). *Annual ground temperature measurements at various depths*.

Fu Y., Zhang C.Y., Zhang B. (2013). *Benefits Analysis and Utilization Strategy for Development of Shallow Geothermal Energy: A Case Study of Tianjin*. *Advanced Materials Research*. 616-618: 1640-1646.

Hähnlein, S., Bayer, P., Ferguson, G., Blum, P. (2013). Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy, *Energy Policy*; 59: 914-925

Iannelli, L., & Gil, S. (2012). Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, 6(1)*, 100.

Lund, J. W., Freeston, D. H., & Boyd, T. L. (2005). Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review. *Geothermics*, 34(6), 691-727.

Narsilio, G. A., Francisca, F., Ferrero, H., Bidarmaghz, A., Serrano, C., Carro Perez, M. E. Makasis M., & Delacoste, E. (2015). Geothermal energy in loess: a detailed numerical case study for Cordoba. *FROM FUNDAMENTALS TO APPLICATIONS IN GEOTECHNICS*, 704-711. XV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica.

Peiretti, A. S. (2017). Geotermia de baja entalpía en suelos Loessicos; casos de estudio (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.).

Pleitavino, M.; Costantini B., y Carro Pérez, M.E. (2019) Estudio comparativo de conductividad térmica de suelo cemento y rocas para uso de geotermia de baja entalpía. II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Ingeniería sostenible. - CLADI 2019 Cartagena – 11 al 13 de setiembre de 2019.

Quick, H., Michael, J., Arslan, U., & Huber, H. (2013). Geothermal application in low-enthalpy regions. *Renewable energy*, 49, 133-136.

Sanner, B. (2001). Shallow geothermal energy. *GHC Bulletin*.

Xydis G.A., Nanaki E.A., Koroneos C.J. (2013). “Low-enthalpy geothermal resources for electricity production: A demand-side management study for intelligent communities”. *Energy Policy* 62, p. 118–123.

Yun TS, Santamarina JC. (2008). Fundamental study of thermal conduction in dry soils. *Granul Matter*;10(3):197–207.

8

EL AHORRO DE AGUA UNA MIRADA INTEGRAL

Autores:

Facundo J. Alonso
Viviana Rodríguez
José A. Li Gambi
Daniela G. Villanueva
Héctor R. Araujo
Rodolfo Giordana

Introducción

Entre los múltiples desafíos que experimenta la humanidad actualmente, ocupa un lugar de privilegio el peligro de la escasez de uno de los recursos más preciados de la naturaleza: el agua. Por lo tanto, el estudio de su cantidad y calidad, así como el pronóstico de su disponibilidad hacia el futuro, constituye desde hace varias décadas uno de los temas centrales en el desarrollo científico y tecnológico mundial.

Dentro de las múltiples líneas de investigación orientadas a interpretar la verdadera problemática del agua en el presente, se identifican aquellas relacionadas con el aprovechamiento eficiente en los centros de consumo urbano, materializado puntualmente en los edificios, ya sean de vivienda, públicos o comerciales.

En este capítulo se pretenden ilustrar las aristas que se interrelacionan en esta problemática, y poner a consideración del lector aquellas herramientas que son funcionales al éxito del propósito del ahorro del agua.

Problemática

Los asentamientos de las poblaciones han tendido históricamente a establecerse en las proximidades de una fuente de abastecimiento de agua. Con el transcurrir del tiempo, se han ido desarrollando métodos y técnicas orientadas a la captación, tratamiento y distribución del recurso, a los fines de facilitar el acceso de los individuos al agua. Un gran número de ciudades, por ejemplo, son fundadas sobre la margen de algún río, cuya agua almacenan en un embalse, y luego derivan hacia una toma mediante algún azud, como es el caso de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Con el transcurrir del tiempo, dicha fuente de abastecimiento, que originalmente era abundante, queda escasa, debido al doble proceso de: progresivo incremento poblacional, por un lado, y el respectivo crecimiento en complejidad del sistema urbano, por otro. Frente a esta situación, se proponen normalmente soluciones orientadas a la búsqueda de fuentes complementarias o alternativas, como por ejemplo mediante el trasvasamiento de cuenca, dirigiendo el agua de una cuenca vecina a la región de mayor demanda, o bien mediante la extracción por bombeo de los acuíferos subterráneos. Continuando con el ejemplo, en la Ciudad de Córdoba, se realiza el trasvasamiento de cuenca desde la cuenca del río Segundo, a la del río Primero, a través del canal Los Molinos-Córdoba.

Ahora bien, un tratamiento integral del sistema de provisión de agua a un centro de con-

sumo, debería abordar no sólo el aumento de la oferta, sino también la eficiencia del uso en los puntos de demanda. La Argentina está categorizada como uno de los países con mayor consumo: los valores oscilan entre los 200 y 400 litros de agua por persona y por día (Alonso et al., 2010), lo cual supera el promedio mundial y representa casi el quíntuplo del consumo europeo. Estos valores contrastan notablemente con el consumo que la Organización Mundial de la Salud recomienda como aceptable: 80 litros por habitante por día (Ambientum, 2006).

Lograr una disminución en el consumo de agua se transforma en una necesidad que debe abordarse con acciones concretas que pueden comenzar en los edificios públicos y de viviendas. Si bien la tecnología del ahorro de agua se encuentra muy desarrollada a nivel mundial, no todas las ciudades han popularizado su utilización y en pocos lugares del mundo se ha oficializado el uso obligatorio de estas medidas. Además, tanto los métodos y las técnicas ahorradores de agua como los dispositivos de optimización del recurso normalmente vienen acompañados de un empleo más racional y eficiente de la energía. Por ejemplo, un menor consumo de agua caliente, viene aparejado de un ahorro de la energía necesaria para calentarla. Por lo tanto, identificar las tecnologías compatibles con el uso que los habitantes realizan del recurso y establecer las especificaciones y la propuesta de distintas normativas técnicas y legales que la regulen aparecen como acciones que se han vuelto indispensables para las concentraciones urbanas de alto consumo y escasa disponibilidad del recurso.

Medidas de acción para el ahorro de agua

Existen innumerables publicaciones referidas a las medidas de acción para hacer eficiente el uso del agua en los edificios, que incluye una variada gama de propuestas que abarcan desde dispositivos puntuales a soluciones integrales. Dada la diversidad de enfoques en relación a la temática, se considera conveniente clasificar la información en cuatro grandes grupos: 1) Tecnología de ahorro de agua, 2) Técnicas de ahorro de agua, 3) Acciones para el ahorro del agua, y 4) Legislación en el uso eficiente del agua. Siendo las dos primeras, medidas de tipo “Estructurales”, mientras que las dos segundas, pueden categorizarse como “No Estructurales”.

En el primer grupo, están comprendidos todos los dispositivos especialmente diseñados para optimizar el recurso mediante su empleo. Se trata de artefactos, o accesorios disponi

bles en el mercado, que se encuentran preparados para ser instalados en el sistema sanitario de provisión de agua en algún punto de consumo, o bien en algún punto de la instalación.

El segundo grupo está centrado principalmente en la organización de las instalaciones internas de un edificio. Incluye, básicamente, al conjunto de definiciones y detalles de proyecto arquitectónico conducentes a optimizar el uso del agua, mediante distintas variantes de reutilización, reciclaje, contención y distribución más eficiente del agua, así como de la energía empleada en ella.

El tercer grupo consiste en la recopilación de un conjunto de recomendaciones, sugerencias y consejos referidos en la bibliografía, relacionados con el ahorro de agua sobre la base la experiencia de los especialistas en esta materia. En ese tópico se desarrolla el concepto cultural del ahorro del agua, que tiene que ver en parte con el mantenimiento y el correcto empleo de las instalaciones, pero principalmente con los hábitos y costumbres de una sociedad concernientes al uso mismo del agua.

El cuarto grupo, constituye la medida no estructural por excelencia: la norma impuesta a la sociedad. Este apartado versa sobre la legislación que determina normas de exigencia que condicionan el uso del recurso a través, básicamente de métodos de premio o castigo, que se materializan normalmente en términos económicos.

Los cuatro grupos presentados previamente no son inconexos unos de otros, ni tampoco progresivos en su aplicación. Por el contrario, son altamente complementarios entre sí, y sólo se han clasificado a los fines de su mejor comprensión, y didáctica de presentación.

A continuación, se desarrolla resumidamente las medidas de tipo “Estructurales” de mayor aplicación a nivel mundial, y se agrega sólo algunos comentarios referidos a las medidas “No Estructurales”.

Tecnología de dispositivos de ahorro de agua

La tecnología en materia de dispositivos de ahorro de agua es muy rica y diversa. En este apartado se presentará una clasificación de los exponentes que se encuentran en el mercado, en función del tipo de uso para el cual fue diseñado.

Grifería: La tecnología de la grifería es muy diversa, y cada dispositivo tiene sus propios detalles particulares, sin embargo, en general prevalecen los mismos principios de funcionamiento. La mayoría de los grifos disponen de un filtro para evitar las salpicaduras (rompeaguas o aireadores) y de tecnologías punteras como perlizadores y eyectores, que reducen el consumo de agua en comparación con los equipos tradicionales y aportan ventajas, como una mayor eficacia con los jabones por su chorro burbujeante y vigoroso. Los equipos sanitarios de grifería más utilizados a nivel de suministro de agua pueden clasificarse en dos grandes familias: equipos completos y accesorios (o adaptadores) para equipos ya existentes. Estos últimos aportan tecnología economizadora al implementarlos sobre grifos ya en uso, tienen un menor costo y aprovechan el equipo al que se le aplica, mientras que los primeros están pensados para obra nueva o remodelación de los equipos e instalaciones. A continuación, se hace una descripción de equipos de grifería nuevos y de accesorios:

Perlizadores: Están basados en el conocido “efecto Venturi” que consiste esencialmente en una aspiración originada por la aceleración del agua al pasar por un estrechamiento en la sección del conducto, de esta forma consigue insuflar aire en su interior y aparenta un caudal muy superior al real. Estos dispositivos garantizan un ahorro de agua de entre un 40% y un 70% de acuerdo con la presión de trabajo.

Maneta de apertura de caudal en dos tiempos o etapas: Por razones de practicidad y costumbre, existe una tendencia de la gente a levantar la maneta del grifo monocomando verticalmente hasta su tope, consumiendo el 100% de su caudal máximo. Existe un dispositivo que ofrece, a mitad de su recorrido, una resistencia (que actúa como tope psicológico), aunque si se fuerza o vence esa pequeña resistencia, ofrece el 100% de su caudal máximo. En la gran mayoría de los casos con el 50% de caudal es suficiente para los usos clásicos.

Grifos electrónicos de activación por infrarrojos: Estos dispositivos se activan cuando un rayo infrarrojo detecta la presencia del usuario. Ajustan la demanda de agua a la necesidad del usuario, activando el suministro e interrumpiéndolo según se encuentre o no presente. Por esta razón, son posiblemente los dispositivos más eficientes del mercado.

Eyectores giratorios orientables: Los eyectores giratorios orientables son dispositivos que se colocan en el pico del grifo para darle la posibilidad de dirigir el chorro a cualquier parte de la pileta de lavar optimizando el uso del agua por ajuste de la posición del eyector al utensilio que se pretende lavar.

Grifos temporizados: Los equipos o grifos temporizados se caracterizan por producir el cierre automático luego de un tiempo desde su activación. Son activados manualmente y poseen una válvula que se acciona al pulsarla. Esta permanece abierta durante un periodo de tiempo, luego del cual, se cierra automáticamente. Con un equipo temporizado, se pueden conseguir importantes ahorros de agua mediante la correcta regulación del caudal y la fijación más conveniente del tiempo de corte. La experimentación ha demostrado (RST-TEHSA, 2009) que un tiempo medio de 15 a 20 s de suministro es excesivo para el uso que de estos grifos se realiza habitualmente. El lapso de 6 segundos es el más adecuado.

Inodoros (WC) y mingitorios: En este grupo se encuentran los equipos que son normalmente más eficientes en el uso del agua.

Fluxores para inodoros: Los fluxores son los dispositivos de accionamiento de descarga de inodoros y mingitorios. Los fluxores temporizados equivalen a los grifos temporizados pero para los inodoros. Ciertas empresas especializadas en suministros de equipos de ahorro han desarrollado unos pistones especiales, a los cuales se les modifica la curva de descarga y producen una descarga más intensa pero de menos tiempo que permite economizar hasta el 35% del consumo de agua habitual de este tipo de equipamientos. En la actualidad hay fluxores de doble pulsador que permiten la descarga parcial o completa dependiendo de la zona del pulsador que se accione.

Inodoros con dispositivo de doble accionamiento: El inodoro es el sanitario que más agua consume a nivel doméstico. Su descarga media (RST-TEHSA, 2009) suele ser de entre 9 y 10 litros. Los inodoros se utilizan tanto para micciones como para deposiciones, que tienen requerimientos de consumo de agua bien distintos. Hoy casi la totalidad de los fabricantes ofrecen la opción de mecanismos con doble pulsador. Esto es muy ventajoso si se tiene en cuenta que, en promedio, una persona utiliza el inodoro 5 veces al día, de las cuales 4 son por micciones y 1 por deposición. Para retirar líquidos se necesitan solamente unos 2 ó 3 litros, y el tanque completo sólo se requiere para retirar sólidos.

Tanques o cisternas con pulsador o tirador interrumpible: Los pulsadores interrumpibles permiten detener la descarga presionando nuevamente el mismo botón de accionamiento. Los tiradores interrumpibles se accionan con un mecanismo de tirador que, al jalar de ellos, se quedan levantados y, luego, se interrumpe la descarga simplemente presionándolos nuevamente hacia abajo.

Tanques o cisternas con contrapeso: Tanto a los tanques o cisternas con dispositivos de interrupción como a aquellos que no los tienen puede acoplárseles un contrapeso que rearma el sistema automáticamente y provoca el cierre apresurado del mecanismo, engañándolo y aparentando haber salido todo el agua del tanque, lo que posibilita ahorros de más del 60% del consumo habitual.

Mingitorios con muy poca agua o sin ella: Los mingitorios ubicados en baños públicos son posiblemente uno de los equipos sanitarios más utilizados por los hombres. Hay tecnologías, basadas en la trampa de olores, que permiten a los mingitorios no consumir agua y que, con una limpieza adecuada, no huelan. En este caso ya no hablamos de reducir sino de eliminar los consumos de agua totalmente en uno de los artefactos del baño. Existen varios sistemas. Algunos de ellos consisten de dos componentes: un mingitorio y un cartucho. El cartucho patentado está instalado en la base y contiene un líquido sellador especial. El cartucho actúa como un embudo, permitiendo que la orina fluya a través del líquido sellador, que impide el escape de olores. Luego, el cartucho filtra los sedimentos y deja que el resto de la orina pase libremente hacia el desagüe.

Dispositivos en cocinas: En las cocinas pueden emplearse varios de los dispositivos mencionados previamente, pero existen algunos que son específicos para las cocinas.

Pedal mezclador: Consiste simplemente en un pedal, por lo cual, la salida del agua es activada con el pie durante el tiempo que se pise el pedal.

Otros dispositivos ahorradores de agua: En este grupo se encuentran aquellos dispositivos que normalmente contribuyen al ahorro de agua de modo indirecto.

Contadores: Los contadores de flujo o medidores han evolucionado notoriamente en los últimos años. Algunos permiten, incluso, hasta detectar fugas en la grifería, lo cual los convierte indirectamente en dispositivos ahorradores de agua.

Estabilizadores de presión: Cuando la presión entre los ramales de distribución fría y caliente es bien distinta, se produce un desequilibrio que privilegia la salida del agua con mayor presión, lo cual tiende a incrementar el consumo de agua por parte del usuario, debido a la dificultad de conseguir la temperatura deseada. Los estabilizadores de presión igualan las presiones de ambos circuitos y evitan desperdicios por regulación de temperatura.

Gestores o analizadores de consumo: Es un equipo programado para vigilar la red y detectar fugas eventuales, un reventón e, incluso, una demanda de agua catalogada como no permitida, en cuyo caso, corta automáticamente el suministro.

Metodos y técnicas para el ahorro de agua

El consumo responsable del agua, no ha de limitarse sólo a los dispositivos puntuales que ofrece la tecnología, sino que debe complementarse con mecanismos de reutilización y reciclaje en el propio edificio. A raíz de ello, se está desarrollando una marcada tendencia arquitectónica a nivel mundial orientada a proyectar las nuevas edificaciones con la incorporación de conceptos de eficiencia en lo concerniente a las instalaciones de suministro, distribución y calentamiento térmico, así como a la recuperación y reciclaje.

En este sentido, un proyecto eficiente debe concebir las nuevas edificaciones para un futuro cercano donde, además de reducir la demanda, el agua que va a los conductos de desagüe se divida desde el origen en aguas pluviales, grises y negras, posibilitando la reutilización y reciclaje para otros menesteres donde la calidad del agua no requiera estándares muy elevados.

Es importante destacar que en los usos que se hace del agua en un edificio, la descarga de uno, puede ser la fuente de abastecimiento de otro, tanto en cuanto a su ubicación, como conforme a su calidad. Pudiendo, sin embargo, proponerse accesorios intermedios complementarios, como bombas para modificarle el nivel, o sistemas de depuración, para mejorarles su calidad. Si bien este grupo no se focaliza en la tecnología de dispositivos para el ahorro de agua, han sido desarrollados algunos métodos o técnicas de aprovechamiento que involucran el uso de dispositivos o accesorios patentados.

En algunas edificaciones, se ha impuesto el concepto de circuitos paralelos de abastecimiento de agua a los puntos de consumo, permitiéndose la conexión del artefacto a uno u otro circuito, conforme que la calidad demandada requiera de agua potable o no potable. Inclusive, en ciertas localidades en las que la potabilización del agua es muy costosa, la red de distribución de agua municipal ya tiene incorporado este concepto en sintonía con las viviendas.

Otra de las técnicas que está resurgiendo rápidamente está relacionado con el uso del agua de lluvia. Durante las últimas décadas se ha prestado mayor interés al manejo de sistemas de drenaje urbano sostenibles. Países como el Reino Unido, Francia, Alemania, Australia y Estados Unidos son pioneros en el desarrollo de diferentes sistemas que permiten manejar la

escorrentía superficial, aspecto que en las ciudades cobra mayor importancia que en las zonas rurales debido al fenómeno de impermeabilización acelerado de las ciudades. En efecto, según Schueler, (1994), en su estudio sobre la importancia de la impermeabilidad, determinó que una hectárea de cobertura impermeable destinada para estacionamiento puede fluir en un año 16 veces más escorrentía que una hectárea de cobertura vegetal. Esta es una de las razones que justifican la existencia de los sistemas de drenaje urbano sostenibles, ya que además de realizar un sistema de captación del agua de lluvia para su posterior reúso, buscan disminuir los volúmenes de escorrentía, y así evitar las concentraciones en picos de hidrogramas que ponen en peligro la seguridad de la población. La utilización del agua de lluvia es una práctica antigua, pero que casi había desaparecido en zonas urbanas con la generalización de las redes de agua potable. Desde el principio del siglo XXI está conociendo un “renacimiento” en muchos países del mundo, como bien lo apunta de Gouvello (2012). Los tejados y techos de las casas, y edificios en general, pueden ser utilizados como captadores de agua de lluvia. La cual es conducida por un conducto pluvial a algún depósito apto para acumularla como es el caso de los aljibes. Esta práctica ha sido muy utilizada históricamente en Argentina, por lo que es muy común encontrar casas antiguas con este sistema instalado.

La producción bibliográfica presenta diversas metodologías de captación de aguas pluviales, que varían en complejidad desde los tradicionales desagües en aljibes de acumulación usados ya desde la antigüedad hasta las nuevas tecnologías de aprovechamiento del agua atmosférica por condensación. Pero en términos generales, los componentes de estos sistemas son los siguiente cinco: a) Área de captación, b) Sistema de conducción o recolección, c) Interceptor, d) Infraestructura de almacenamiento, y e) Filtración y tratamiento. Actualmente, y ya de cara al futuro, se están construyendo techos con superficies expuestas permeables, y con terminaciones inferiores impermeables que permitan el escurrimiento del agua hacia desagües de evacuación. En el mundo existen empresas que ofrecen soluciones de depósitos bajo cubierta, que aíslan y protegen al edificio y que además posibilita captar y acumular el agua de las precipitaciones que se produzcan.

Vinculada a esta técnica, está tomando gran protagonismo en los proyectos arquitectónicos edificios de vanguardia, el desarrollo de los techos verdes. Esta técnica se ha vuelto relativamente común en los últimos 20 años en países sujetos a clima más continental como Alemania, Austria y Suiza. Su propagación ha aumentado en los países desarrollados. La cobertura anual del techo verde se estima entre 0,1 y 1 km² en varios países de todo el

mundo (España, Brasil, Canadá, Corea, Reino Unido o Japón), mientras que se estima que alcanzará los 2 km² en Francia e incluso más de 10 km² en Alemania (Lassalle, 2012).

Medidas no estructurales

Los métodos, técnicas y dispositivos tecnológicos descritos brevemente en los apartados anteriores constituyen un conjunto de medidas necesarias, pero no suficientes, en dirección a maximizar la eficiencia en el uso del agua.

En efecto, representan una condición necesaria porque, como ya se ha dicho previamente, para que sea eficaz el propósito perseguido, es importante intervenir con acciones físicas y concretas que limiten y restrinjan el uso desmedido del recurso. Sin embargo, para que se vaya produciendo gradualmente una transformación de la sociedad en dirección al uso eficiente del agua, es menester sumar a estas medidas estructurales, campañas de concientización que promuevan la cultura del uso racional de los recursos.

Adicionalmente a las campañas de enseñanza y conciencia, es necesario fortalecer el cuerpo legislativo que le da sustento formal a la reestructuración de un Estado que propende a la cultura del ahorro del agua. Felizmente, cada vez es mayor el número de ciudades que agrega a su normativa artículos que legislan con respecto al ahorro del agua. Entre los muchos aspectos que aborda esta documentación, una buena parte se encausa hacia los nuevos códigos de edificación, en los cuales se condiciona al proyectista a desarrollar un edificio con conceptos ahorradores de agua incorporados.

Finalmente, es importante destacar como mediad no estructural por excelencia, el costo del recurso. En efecto, la experiencia ha demostrado que el aumento en la tarifa del agua, o el costo del metro cúbico consumido, constituye la herramienta más eficaz al proceso de transformación de la sociedad en dirección a racionalizar el recurso. Con un planteo de premio y castigo en función de su ahorro o derroche se establece una dinámica positiva en los términos del aprovechamiento sustentable del recurso.

Perspectivas hacia futuro

La creciente exigencia de responsabilidad social, ecológica y económica, obliga a buscar variantes en esa materia, y ponen luz sobre el camino a seguir para reducir la demanda de

agua. Los organismos de crédito internacional, así como las principales agencias de certificación mundial, establecen estándares de eficiencia de los recursos hídricos y energéticos en todos sus programas y financiamientos. Esta tendencia de apoyar propuestas sustentables se ha profundizado en las últimas décadas, y establece un gradiente en ascenso que pronostica hacia el futuro un vuelco de los estados y las sociedades hacia una mirada integral del problema del agua. Mirada que, por otra parte, es indispensable para la sustentabilidad de la humanidad en el planeta.

Bibliografía

Alonso, F., Li Gambi, J.A., Rodríguez, V. y Lizarraga, S. (2010) *Estado Actual de los Métodos y Tecnologías de Ahorro de Agua en Edificios Públicos y de Viviendas. III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba, Argentina.*

Alonso, F., Li Gambi, J.A., Rodríguez, V. y Lizarraga, S. (2011) *Métodos y Tecnologías de Optimización en el Uso del Agua en Edificios, Estado Actual. XXIII Congreso Nacional del Agua. Resistencia, Argentina. Trabajo en revisión.*

Ambientum (2006) *El Consumo de Agua en Porcentajes. Revista de medioambiente Ambientum.com.*

Arreguín Cortés, F. I. (1991) *Uso eficiente del agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.*

De Gouvello, Bernad. (2012). *Revalorización de un antiguo recurso. Revista Hidrya N 42. ISSN.1669.5119. Pág. 6-9.*

Gallo, J. D. (2009) *Uso eficiente del agua en los edificios. Revista La Construcción. Año 6 N.º 32, pp.39-41.*

Lassalle, F. 2012. *Panorama technique, historique et géographique. En: Quelle place pour les toitures végétalisées dans la ville de demain, 20 de Noviembre 2012, Paris (Francia).*

Liendo, R. E. (2006) *Uso Eficiente del Agua: Identificación de dispositivos ahorradores de agua. Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería Civil. FCEFyN-UNC.*

Naciones Unidas (2000) *Informe de la Asamblea General. Quincuagésimo quinto periodo de sesiones. Nueva York, EE. UU.*

RST-TEHSA (2009) *Dossier Técnico y Tarifas de Sistemas de ahorro de agua y Energía. Publicación realizada en Ahorraragua.org.*

Schueler, T. (1994). *The Importance of Imperviousness. Watershed Protection Techniques.*

9

DISEÑO ESTRUCTURAL SOSTENIBLE EN HORMIGÓN ARMADO

Autores:

Silvina Prados

Anabella Cardellino

Introducción

La industria de la construcción constituye una de las grandes consumidoras de energía durante los procesos de elaboración de los materiales, edificación y sobre todo durante el uso de los edificios, siendo el hormigón armado su técnica constructiva más extendida.

La mayoría de los sistemas de certificación actuales, que regulan el grado de sostenibilidad de las edificaciones, para las etapas de proyecto y construcción, priorizan la disminución del consumo de agua y de energía, el control de las emisiones de dióxido de carbono en los procesos empleados y la naturaleza de los materiales utilizados, sin asociar la elección de los recursos con el uso, densidad y vida útil¹ requerido para el edificio, lo que acaba dejando de lado la importancia de un buen diseño estructural.

Muchos de los materiales y sistemas constructivos que se reconocen como sostenibles, como por ejemplo el adobe, el bambú, la madera, etc., no tienen la misma resistencia y durabilidad que el hormigón armado siendo solo capaces de desarrollar una arquitectura de poca densidad, resultando depredadoras del territorio² y requiriendo cantidades de material significativamente superiores.

En este contexto, el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales (IDIEM) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, desde el año 2002 introduce el concepto de hormigón sustentable donde analiza este material desde una nueva perspectiva: el enfoque del ciclo de vida.

Por otra parte, el reglamento INPRES-CIRSOC 103³ en su versión del año 2016, incorpora la variable de regularidad estructural, tanto en planta como en altura, para la definición de los métodos de diseño para construcciones de hormigón armado en zona sísmica. De su lectura se deduce que un buen diseño corresponde al de una estructura regular que, al minimizar los efectos torsionales, tiene un comportamiento previsible frente a la acción sísmica proponiendo para ellas métodos de análisis sencillos y coeficientes de seguridad que contemplan menores incertidumbres. Mientras que, una estructura con un grado de irregularidad elevado, debido a su gran vulnerabilidad y a la insuficiencia de los métodos de diseño actuales en la determinación del real comportamiento de las mismas, las considera inadmisibles en zonas geográficas de elevado riesgo sísmico.

¹ EHE (2008). Instrucción española de hormigón estructural. Recuperado de <http://www.ponderosa.es/docs/Norma-EHE-08.pdf>

² El hormigón armado como material sostenible, Del Toro & Antunez Arquitectos, 2019. Recuperado de <https://blog.deltoroantunez.com/2019/02/hormigon-armado-material-sostenible.html>

³ Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura⁽¹⁾

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal ⁽²⁾	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

⁽¹⁾ Cuando una estructura esté constituida por diferentes partes, podrá adoptarse para tales partes diferentes valores de vida útil, siempre en función del tipo y características de la construcción de las mismas.

⁽²⁾ En función del propósito de la estructura (exposición temporal, etc.). En ningún caso se considerarán como estructuras de carácter temporal aquellas estructuras de vida útil nominal superior a 10 años.

Vida útil nominal para los diferentes tipos de estructura

Tabla 5 de la norma EHE¹

SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN SOSTENIBLES	
PAIS	SISTEMA
Alemania	DGNB
Australia	NABERS GREEN STAR
Brasil	AQUA LEED BRASIL
Canadá	GREEN GLOBES LEED CANADA
China	GBAS
España	VERDE BREEAM ES
Estados Unidos	LEED
Finlandia	PROMISE
Francia	HQE
Holanda	BREEAM NETHERLANDS
Hong Kong	HKBEAM
India	LEED INDIA
Italia	ITACA
Méjico	LEED MEXICO
Portugal	LIDER A
Reino Unido	BREEAM

Tabla con los principales sistemas de certificación sostenibles en el mundo ¹

¹ El proyecto de estructura en los sistemas de certificación sostenible de edificios. (2012). Barrios Corpa, J. y Santos Olalla, F.

Por lo tanto, un diseño estructural sostenible debiera contemplar:

- reducir la cantidad de recursos necesarios para la construcción
- posibilitar la realización de construcciones resistentes de elevada densidad
- proponer un buen diseño para lograr edificaciones seguras
- y garantizar proyectos con períodos de vida útil elevados.

Evolución en la evacuación de las sostenibilidad de los sistemas de certificación

Entendiendo al objeto de diseño como un producto, desde los años 70 se vienen desarrollando criterios y metodologías que permiten su creación con la calificación de “sostenible”.

Los sistemas de certificación más antiguos han ido evolucionando con el pasar de los años, donde al principio el énfasis estaba puesto en el uso de los recursos y, en la actualidad buscan alcanzar estilos de vida sostenibles. Entre los más utilizados, por su gran difusión internacional, son los sistemas BREEAM¹ (1990) originario del Reino Unido y LEED² (2000) creado en Estados Unidos.

La evolución de estos sistemas se debe fundamentalmente a que la sostenibilidad no es solo ambiental y que la etapa constructiva de un edificio representa una pequeña parte de su vida útil.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que es incorporado por los sistemas de certificación en la década del 90, considera el impacto ambiental que se produce durante el proceso de diseño, a lo largo de toda la vida útil del edificio e incluso al final de su periodo de servicio, evaluando las posibilidades de reuso o bien las de reutilización o reciclaje de los materiales en el momento de su deconstrucción.

Con el enfoque del ACV el mayor porcentaje del impacto ambiental de un edificio ocurre durante su etapa de uso llegando a ser este entre un 80% y 90%.

En la certificación LEED el análisis de ciclo de vida se lleva a cabo comparando un edificio proyectado con un edificio de referencia, evidenciando que se ha producido al menos una

¹ BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology

² LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

mejora del 10% en 3 de los aspectos ambientales considerados, en los cuales uno debe ser el cambio climático o calentamiento global. Además, en los restantes aspectos no considerados limita su falla en un 5%.¹

Los aspectos ambientales en consideración son: el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono, acidificación del suelo y/o agua, eutrofización, formación de oxidantes fotoquímicos y tratamiento de residuos.

El sistema BREEAM desarrolla un ACV, conforme a los requisitos de las normas ISO² 14040 e ISO 14044 (2006). El análisis consiste en evaluar una gama de opciones de materiales, de tal manera que se pueda demostrar que dicha evaluación influye positivamente en los componentes principales de los distintos elementos del edificio.¹

Normativa en Argentina

En Argentina el desempeño en términos de sustentabilidad de un edificio se encuentra regulado por las normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) careciendo hasta el momento de un método o sistema de certificación y de la obligatoriedad de reportarlo o hacerlo público.

Las mismas pueden agruparse de forma generalizada de la siguiente manera:

- la serie 11600 desarrolla todo lo relacionado con el confort higrotérmico en la edificación.
- la serie 11500 aspectos sobre la eficiencia térmica
- la serie 11900 todo lo involucrado en la eficiencia energética en edificios

Las normas que involucran criterios para la construcción de un edificio sostenible son:

• **IRAM 11930. Construcción sostenible. Principios generales.** Identifica y establece principios generales para la sostenibilidad en la construcción de edificios (equivalente a la ISO 15392 – 2008). Se basa en el concepto de desarrollo sostenible que se aplica al ciclo de vida de los edificios y otras obras de construcción, desde su inicio hasta el final de la vida. Esta norma es un punto de inicio para la aplicación de metodologías sostenibles, no obstante, no proporciona una estructura jerárquica de datos ni establece una ponderación como los sistemas de certificación citados anteriormente y no considera una evaluación del diseño

¹ Análisis del ciclo de vida, recuperado de <https://www.ik-ingenieria.com/es/analisis-ciclo-vida-acv#certificacion-lead>

² ISO: International Organization for Standardization



Esquema síntesis del análisis de ciclo de vida¹

estructural. Los principios generales en que se basa son: 1) Mejora continua; 2) Equidad; 3) Pensamiento global y acción local; 4) Enfoque holístico; 5) Participación de las partes interesadas; 6) Consideración a largo plazo; 7) Precaución y gestión de riesgos; 8) Responsabilidad y 9) Transparencia.¹

• **IRAM 11931. Construcción sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía de aplicación de los principios generales de la IRAM 11930.** Esta guía provee lineamientos para la aplicación de los principios generales de la sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil, indicados en la IRAM 11930. Muestra los diferentes actores en las obras de construcción y de cómo tomar en cuenta estos principios dentro del proceso de toma de decisiones, a fin de incrementar la contribución de las obras de construcción al desarrollo sostenible.

Hormigón armado sostenible

Es sabido que el hormigón armado posee como principales ventajas su durabilidad, con bajos requerimientos para su mantenimiento y su resistencia, que le brinda la capacidad para construir arquitecturas de alta densidad.

Estas características son las que se consideran como indicadoras del grado de sostenibilidad del material para no caer solo en el análisis del consumo de energía y agua y en lo renovable o no de los recursos unitarios que necesita el material para su elaboración.

Eduardo Sanhueza, subdirector de IDIEM, menciona que “es necesario observar la sustentabilidad de los materiales de construcción con un enfoque de ciclo de vida, es decir, no solo analizar su etapa de producción, sino su ciclo completo, de principio a fin. De esta manera algunos productos como el hormigón armado -a largo plazo- resultan sustentables, incluso más que otros materiales que podrían considerarse ecológicos en una primera instancia, pero que al analizarlos en su vida útil pueden resultar más contaminantes”.²

En Argentina durante los años 2014, 2015 y 2016, un grupo de profesionales coordinados por el Ing. Civil Enrique Sgrelli, entonces Prosecretario del Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC), llevó a cabo una serie de encuentros con destacados referentes de una serie

¹ *Construcción Sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía sobre la aplicación de los principios generales de la IRAM 11930. Proyecto norma IRAM 11931 (2014). Recuperado de <https://es.scribd.com/document/212996791/EA3-IRAM-11931>*

² *Hormigón sustentable: Una nueva mirada a los materiales de construcción, recuperado de <http://ingenieria.uchile.cl/noticias/97524/hormigon-sustentable-nueva-mirada-a-los-materiales-de-construccion>*

de instituciones, a fin de intercambiar experiencias sobre el “Hormigón Sostenible” con muy pocos antecedentes documentados en nuestro país.

Los resultados de todos estos encuentros se compilaron en el libro “HORMIGÓN SOSTENIBLE EN ARGENTINA: Estado del arte y buenas prácticas”¹, con el fin de difundir las características de los hormigones producidos, proyectados, construidos y mantenidos con conciencia ambiental.

Se representaron las distintas etapas del ciclo de vida de un edificio de hormigón sostenible y los actores que intervienen en cada una de ellas. Estos actores son los responsables de garantizar que las construcciones de hormigón armado sean sostenibles.

Para poder evaluar el grado de responsabilidad de las acciones llevadas a cabo en cada etapa es importante exponer los indicadores que se analizan en cada una de ellas:

Factibilidad: se estudia la disponibilidad de los recursos necesarios para la realización de un determinado proyecto. Se analiza el lugar de emplazamiento de la obra con sus condicionantes de temperatura, peligrosidad sísmica, etc., y las posibilidades para materializar su estructura.

Planificación: se analiza la estimación y disposición de los recursos de producción como la suma de tareas y tiempos necesarios para la realización de la estructura. Cobran en esta etapa vital importancia el transporte, la oferta del material en las condiciones ambientales deseadas, la capacidad productiva de las empresas constructoras en una ubicación geográfica específica, entre otras.

Diseño: esta es considerada la etapa esencial de todo el ciclo ya que de su óptima calidad y prestación dependerán las restantes. Desde el anteproyecto hasta el proyecto ejecutivo, la sumatoria de documentaciones, tanto gráficas como escritas, deben aplicar criterios para un hormigón sostenible. El diseño debe desarrollarse en forma interdisciplinar y cumplir con las especificaciones, normas y leyes vigentes con responsabilidad socioambiental.

Insumos: aquí intervienen los proveedores de los materiales. Para la Industria, la sostenibilidad debe resultar un aspecto prioritario. En las últimas décadas, se ha fortalecido en la sociedad la conciencia sobre la necesidad de cuidar el ambiente, traducándose en políticas empresariales, las cuales basadas en la tecnología moderna, mejoran las etapas de produc



Etapas del ciclo de vida de un edificio de hormigón sostenible y los diferentes actores intervinientes¹

¹ Hormigón sostenible en Argentina: Estado del arte y buenas prácticas (2017), recuperado de <https://issuu.com/documentoscpc/docs/cpic-hormigon-baja>

ción, utilizando más eficientemente la energía, sustituyendo gradualmente los combustibles no renovables por los alternativos, acotando al mismo tiempo, las materias primas naturales y sumando residuos generados en otros procesos industriales.

Construcción: esta etapa involucra a los proveedores de insumos y las empresas constructoras. Las especificaciones de la etapa de diseño actúan como requisitos mínimos. La condición de obra ejecutada “in situ” puede influir en el impacto ambiental de la estructura de hormigón sostenible al incumplir con las especificaciones, generales y particulares, reemplazando algunas tareas por ser complicadas o laboriosas.

Suministro de energía: un hormigón es sostenible no solo cuando considera ahorros de energía para el acondicionamiento de la envolvente del edificio del cual forma parte, sino también, los considerados en las etapas de insumos y construcción.

Uso del edificio: en esta etapa se aglutinan actores como inmobiliarios, inquilinos, residentes, propietarios, administradores, entre otros. Durante la vida útil de la estructura, el propietario del edificio y el usuario final resultan responsables de su operación y mantenimiento. Si el diseño inicial ha tenido éxito, la construcción funcionará durante décadas sin necesidad de llevar a cabo grandes reparaciones y modificaciones. Por ello, un adecuado mantenimiento garantiza soluciones duraderas con aceptable costo económico. Un razonable mantenimiento siempre se sustenta en una adecuada elección de materiales, en la precisión para el diseño de detalles y una correcta ejecución.

Aportes al Estado del Arte: aquí se analizan y documentan los datos e informaciones acerca del desempeño ambiental y energético para una futura generación edilicia. En ocasiones, las etapas asociadas son la demolición y reutilización o reciclaje. Luego del final de la vida útil de la estructura se analiza su capacidad de reciclado en función de las patologías verificadas. Estos datos validarán posibles avances en el denominado “Estado del Arte”, al tiempo que permiten cuantificar la aplicabilidad de los componentes estructurales para disponerlos en nuevas edificaciones.

Se destaca la importancia de que los componentes estructurales del hormigón armado sostenible, que son los que brindan resistencia y estabilidad al edificio, permanecen estables hasta la muerte del mismo cumpliendo con periodos de vida útil superiores, en algunos casos, a los 100 años.

En la publicación se enfatiza en que un adecuado diseño permite la optimización de la

vida de servicio de la obra según su destino y de sus costos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida. Los actuales modelos de conocimiento y cálculo de las estructuras de hormigón armado permiten optimizar su diseño a efectos de posibilitar una amplia duración de la obra ante cualquier exposición. Es por eso que, la estructura debe ser motivo de un amplio análisis en la etapa de diseño ya que es la encargada de mantener su vigencia durante toda la vida útil.

Para lograr este objetivo, las instituciones educativas deben:

1) transmitir conciencia de diseños sostenibles a todos los actores del ciclo de vida de un edificio de hormigón armado y

2) determinar indicadores de fácil cuantificación que permitan evaluar propuestas de diseño estructural con sostenibilidad.

El diseño estructural sostenible

Entre las estrategias de diseño con las que cuenta la arquitectura para lograr edificios sostenibles se pueden mencionar:

a) Extender la vida útil del edificio, con medidas como la utilización de materiales duraderos y resistentes, el planteo de un adecuado diseño estructural, la propuesta de diseños flexibles o adaptables y la especificación de acciones para un correcto mantenimiento y reparación estando en funcionamiento.

b) Reducir el gasto energético, principalmente durante el uso del edificio, aplicando soluciones de diseño bioclimático y aislamiento térmico.

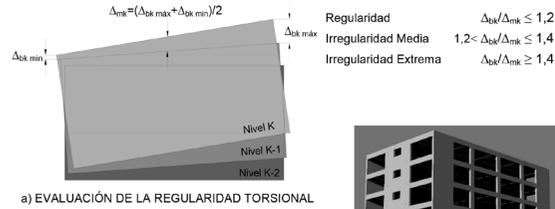
Como se pudo ver durante el desarrollo anterior, el ACV introduce indirectamente consideraciones que tienen en cuenta la seguridad y vida útil de las construcciones. Estas dos variables son relevantes en el diseño de estructuras con alta densidad de ocupación, como los edificios en altura para vivienda, y en zonas geográficas riesgosas, como son las zonas sísmicas.

En el reglamento INPRES-CIRSOC 1033 se define la regularidad estructural como parámetro principal para lograr un adecuado diseño estructural. Esto se debe a que un diseño regular garantiza la adecuada confiabilidad en la predicción de la respuesta de la construcción ante excitaciones sísmicas, constituyéndose de esta manera en un diseño deseable, con el que es posible cumplir con los períodos de vida útil requeridos y con las demandas sociales y econó-

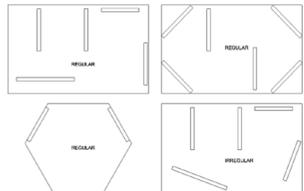
Tipo de regularidad	Línea	Condición de regularidad	Línea	Caso	Zonas Sísmicas 3 y 4			Zonas Sísmicas 0, 1 y 2			
					A ₀	A	B	A ₀	A	B	
Regularidad en Planta Tabla 2.3.	1	Torsional	1a	Regular	E	E	E	E	E	E	
			1b	Irregularidad Media	D	E	E	E	E	E	
			1c	Irregularidad Extrema	R	R	R	R	D	D	
	2	Continuidad de Elementos	2a	Regular	E	E	E	E	E	E	
			2b	Irregular	E	E	E	E	E	E	
	3	Ortogonalidad	3a	Regular	E	E	E	E	E	E	
			3b	Irregular	E	E	E	E	E	E	
	4	Esquinas entrantes	4a	Regular	E	E	E	E	E	E	
			4b	Irregular	D	D	E	E	E	E	
	Regularidad en Altura Tabla 2.4.	1	Rigidez	1a	Regular	E	E	E	E	E	E
				1b	Irregularidad Media	D	E	E	D	E	E
				1c	Irregularidad Extrema	R	R	R	R	D	E
2		Masas	Regular	E	E	E	E	E	E		
			Irregular	D	D	D	D	D	E		
3		Dimensiones Horizontales	Regular	E	E	E	E	E	E		
			Irregular	D	D	D	D	D	E		
4		Retranqueos en su Plano	4a	Regular	E	E	E	E	E	E	
			4b	Irregular	E	E	E	E	E	E	
5		Resistencia Horizontal	5a	Regular	E	E	E	E	E	E	
			5b	Irregular	R	R	R	R	D	E	

E: Método Estático; D: Métodos Dinámicos; R: Rediseñar la Estructura

Tabla con la aplicabilidad de los métodos de análisis estructural 3



a) EVALUACIÓN DE LA REGULARIDAD TORSIONAL

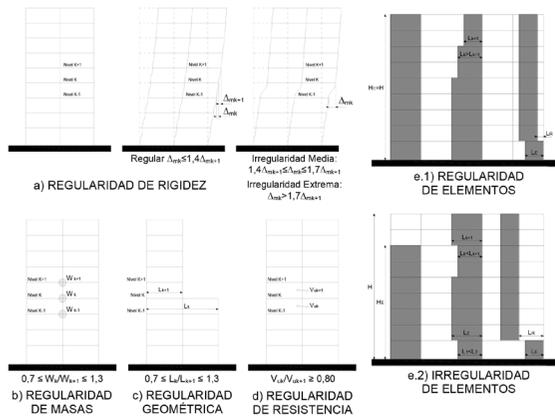


b) ORTOGONALIDAD Y SIMETRÍA



c) DEFINICIÓN DE DESPLAZAMIENTO Y RETRANQUEO

Criterios para cualificar la regularidad en planta. Comentarios capítulo 2 del reglamento INPRES-CIRSOC 103



Criterios para cualificar la regularidad en altura. Comentarios capítulo 2 del reglamento INPRES-CIRSOC 103

micas del lugar de emplazamiento.

En el mismo se especifican los métodos de diseño a aplicar según el grado de regularidad del edificio y la zona sísmica de implantación, especificando el rediseño en aquellos casos donde las situaciones sean extremas por la gran incertidumbre en los resultados que se obtengan.

Además de estas limitaciones, propone el uso de una excentricidad accidental a tener en cuenta durante el diseño, en función también del grado de irregularidad, lo que se traduce en mayores solicitaciones a medida que esta aumenta y consecuentemente un mayor consumo de material.

Como estrategias para cumplir con los requisitos de regularidad en planta se especifican:

- proponer sistemas torsionalmente regulares.
- plantear la continuidad de los elementos resistentes en toda la altura del edificio.
- proponer elementos resistentes ortogonales y doblemente simétricos.

Entre las estrategias de diseño para cumplir con los requisitos de regularidad en altura se mencionan:

- proponer una regularidad en las rigideces de los niveles sucesivos.
- diseñar una regularidad de masas en los niveles sucesivos.
- plantear esquemas con regularidades geométrica o regulares en sus dimensiones horizontales.
- plantear una configuración vertical de los elementos resistentes continuos en toda la altura y uniformes o con dimensiones crecientes de arriba hacia abajo.
- presentar propuestas regulares en su resistencia lateral o del esfuerzo de corte.

Reflexiones finales

- La sostenibilidad en las edificaciones no sólo debe analizarse bajo parámetros ambientales, sociales y económicos en el momento de su ejecución sino incorporando el ACV. Esto garantiza una mirada hacia el futuro con construcciones que posean mayor seguridad, mayor durabilidad y menores costos, sobre todo en los procesos de reparación de daños que puedan producirse durante el uso de las edificaciones y en situaciones de catástrofes.
- Además de los impactos ambientales durante la producción del material, la elección del mismo debe poder contemplar aspectos tales como la durabilidad y capacidad resistente. Esta última posibilita la construcción de edificaciones con elevada densidad cuando así se requiera, sin disminuir su confiabilidad estructural ni desempeño y con un consumo razonable de recursos.
- Los arquitectos deben diseñar propuestas estructurales flexibles para los proyectos arquitectónicos de tal forma de darles posibilidad de reuso durante todo su ciclo de vida.
- La enseñanza de la arquitectura debe enfatizar en métodos que garanticen la eficiencia, seguridad y durabilidad de las construcciones para un desarrollo sostenible de la profesión. Estos métodos deben basarse principalmente en el control de la regularidad en planta y en altura de los mecanismos estructurales diseñados.
- Investigaciones sobre cómo y cuánto incide un diseño regular de la configuración estructural de un edificio en su grado de sostenibilidad constituiría un aporte significativo al proceso proyectual de los arquitectos e ingenieros y a una mejora en los sistemas de certificación de edificios.

Bibliografía

Álvarez, A.; Buigues Nollens, A. (2018). *Caracterización y diagnóstico de metodologías internacionales y normas IRAM para la evaluación ambiental edilicia de la vivienda: análisis dirigido a la contextualización regional para zonas áridas de Argentina*. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 8, N°. 1. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 42-53. Recuperado de: <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.04>

Barrios Corpa, J. y Santos Olalla, F. (2012). *El proyecto de estructura en los sistemas de certificación sostenible de edificios*. Recuperado de: <http://aulagreencities.coamalaga.es/proyecto-de-estructura-en-los-sistemas-de-certificacion-sostenible-de-edificios/>

Dávalos, A. (2013). *Hormigón sustentable: Una nueva mirada a los materiales de construcción*. *Beauchef Magazine* N°5, ISSN 0719-126X. Recuperado de <http://ingenieria.uchile.cl/noticias/97524/hormigon-sustentable-nueva-mirada-a-los-materiales-de-construccion>

Del Toro y Antunez (2019). *El hormigón armado como material sostenible*. Recuperado de <https://blog.deltoroantunez.com/2019/02/hormigon-armado-material-sostenible.html>

EHE (2008). *Instrucción española de hormigón estructural*. Recuperado de <http://www.ponderosa.es/docs/Norma-EHE-08.pdf>

Fernández, L; Gutiérrez, M. (2013). *Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones*. *Información Tecnológica* Vol. 24 (2), 121-130. ISSN 0718-0764. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000200013>

IK Ingeniería. *Análisis de Ciclo de Vida y Certificaciones Ambientales*. Recuperado de <https://www.ik-ingenieria.com/es/analisis-ciclo-vida-acv#certificacion-lead>

INPRES CIRSOC 103 (2016). *Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I: Construcciones en general. Reglamento y comentarios*. Recuperado de <http://www.inti.gov.ar/cirsoc/>

IRAM 11931 (2014). *Proyecto de norma. Construcción Sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía sobre la aplicación de los principios generales de la IRAM 11930*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/212996791/EA3-IRAM-11931>

Rieznik Lamana, N; Hernandez Aja, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida*. Recuperado de: <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html#15>

Sgrelli, E. (2017). *Hormigón sostenible en Argentina: Estado del arte y buenas prácticas*. ISBN 978-987-95422-7-9. Recuperado de <https://issuu.com/documentoscpic/docs/cpic-hormigon-baja>

10

ENVOLVENTES EN VIVIENDAS SUSTENTABLES

ESTUDIOS PRELIMINARES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL
MURO TAPIAL

Autores:

Julio A. Capdevila

M. Dolores Aramburu

Jorge E. Salomón

Astrid Ceballos

Susana M. Tejerina

Fernando Sabaini Zapata

Pabla G. Guerrero Maldonado

Introducción

La construcción en tierra fue durante siglos la principal forma constructiva en varias regiones del mundo inclusive en la Argentina. En Asia Egipto y Medio Oriente existen ejemplos con más de 5000 años de antigüedad (Rotondaro, 2004; Patrone et. al., 2005; Minke G., 2006; Bui et al., 2009; Montoya Robles, 2017). En América los vestigios más importantes se dan en México, EEUU, Perú, Brasil y otros países de la región andina. En la Argentina la construcción con tierra se desarrolló durante todo el periodo colonial tanto en el norte como en la pampa húmeda, lamentablemente la imagen de la construcción en tierra en nuestro país, queda influenciada por la degradación de ejemplos antiguos sin mantenimiento adecuado y la idea de un material relacionado con la pobreza y el pasado. La aplicación de técnicas de estabilización de suelo con aglomerantes como el cemento, la cal y adiciones modificadoras de las características del suelo, posibilitan la obtención de materiales de mejor calidad (Patrone et al., 2005).

En la construcción de viviendas se han investigado las distintas técnicas constructivas con tierra cruda (adobe, tapial, terrón, quincha o bajareque, etc.), que se han utilizado desde la antigüedad. Estas investigaciones y desarrollos apuntan fundamentalmente a la estabilización del suelo con elementos orgánicos y a la utilización de la técnica adecuada al suelo existente en el sitio de la construcción, situación compleja debido a la amplia variedad de suelos existente. La tecnología de la “tierra cruda”, es considerada como óptima desde el punto de vista del equilibrio y protección del medio ambiente, por ser poco agresiva, constitutiva de soluciones útiles para resolver las necesidades habitacionales en medios rurales (Cuitiño et al., 2012). En Argentina, la construcción con tierra muestra su vigencia en distintas regiones geográficas y sociales del país, a través de diferentes iniciativas, que dan testimonio de que la tierra cruda está siendo cada vez más considerada como una alternativa posible y útil en relación con la construcción del hábitat. Sin duda el adobe es el bloque más empleado, mientras que el muro tapial se presenta con menor distribución, aunque forma parte de las tradiciones en más de la mitad del país. En este sentido, se han construido, con muro tapial, viviendas, iglesias, museos conventos, casonas, equipamiento doméstico, etc. (Rotondaro, 2004).

El material constitutivo propuesto para la construcción del muro tapial en este proyecto es el limo loésico. Este tipo de suelo ocupa gran parte de la provincia de Córdoba, y en particular una importante superficie del gran Córdoba.

A los fines de poder caracterizar el comportamiento higrotérmico y mecánico del muro tapial, como cerramiento en viviendas en el gran Córdoba, resulta necesario el estudio de las

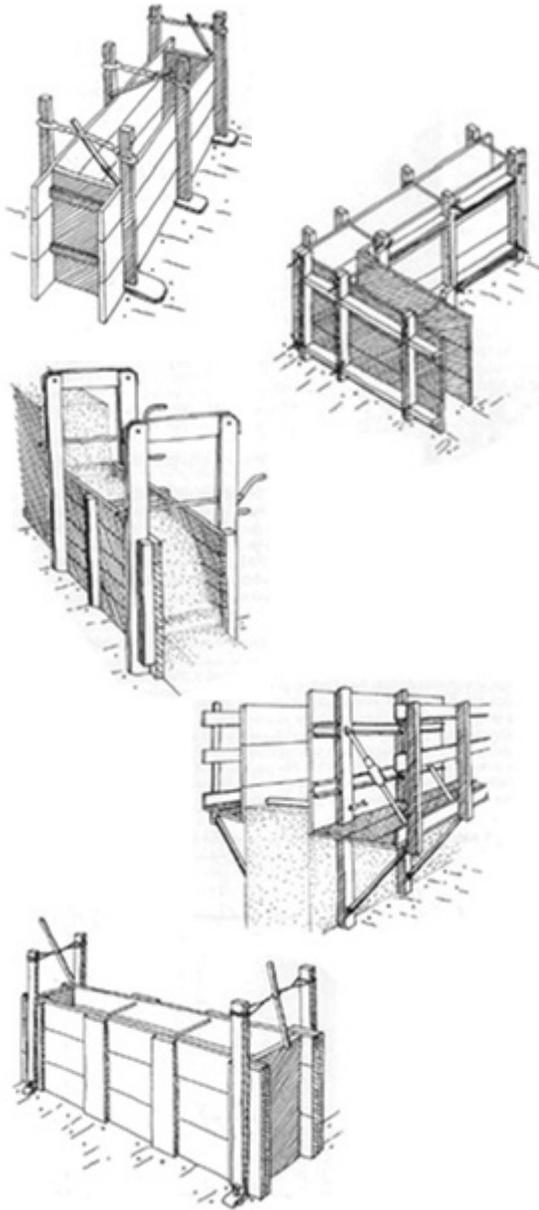


FIGURA 1 Esquema de distintas opciones de encofrado para muro tapial.

propiedades físicas del limo loésico a utilizar, tales como textura, estructura, porosidad, permeabilidad, drenaje como también las características térmicas e higrométricas, entre las que se destacan la conductividad térmica y el calor específico. Además, se debe estudiar el comportamiento mecánico del muro, evaluando la posibilidad de resistir su propio peso y eventuales solicitaciones, tales como cargas externas, fenómenos meteorológicos, radiación solar, etc., a los fines de analizar la potencialidad del muro como estructura resistente, o solo como elemento delimitante del espacio.

El muro tapial y su sistema constructivo

El tapial es un muro formado con tierra arcillosa, que se compacta a través de un encofrado, formado por tablonces de madera o planchas metálicas dispuestas en paralelo. El muro tapial se destaca por recurrir a un material barato y fácilmente accesible, ligado al contexto inmediato del ser humano, la tierra, apropiada por su simplicidad, rapidez constructiva, características bioambientales (ecológicas) y facilidad de transferencia a mano de obra no especializada (Patrone y Evans, 2006).

Actualmente, el tapial se puede encontrar en construcciones antiguas o en modernos edificios de nueva construcciones, que abogan por la bioconstrucción y el uso de materiales naturales. Las técnicas para su construcción también han evolucionado aunque sigue siendo un proceso que necesita elevada mano de obra. No obstante, presenta numerosas ventajas, ya que puede ser utilizado como estructura portante y, además, funciona muy bien acústica y térmicamente, en climas templados.

La tierra necesaria puede ser del mismo lugar donde se realiza la obra, con una adecuada dosificación, una mínima cantidad de arcilla, agua y un estabilizante, cemento o cal, en muy pequeñas cantidades.

Entre los elementos necesarios para su materialización se incluye un encofrado (ver Figura 1) y un pisón. El primero de ellos está formado por tableros, que cierran el conjunto, y travesaños, que le otorgan rigidez al conjunto. Éste debe ser ligero ya que dos operarios deben moverlo sin dificultad. El segundo es de madera y base cónica con el suficiente peso para que, por gravedad, la tierra se pueda compactar. En la actualidad el pisón de madera está siendo sustituido por el neumático, en razón de rapidez y costo de ejecución.

La puesta en obra es sencilla, solo se necesita mover lateralmente y hacia arriba el en

cofrado y erigir, tramo a tramo, el muro deseado. La dimensión del tramo dependerá de los medios disponibles.

La construcción con tapial comienza como cualquier otro sistema con las obras preliminares para la habilitación del terreno, su limpieza, trazado y excavación de las zanjas. Los muros de tapial debido a su peso requieren de una cimentación competente que transmita adecuadamente las cargas al terreno. Además, las edificaciones de tapial, con frecuencia, están ubicadas en zonas lluviosas, de modo que es necesario proteger a los muros de la acción de la humedad mediante la utilización de sobrecimientos apropiadamente construidos.

Las cimentaciones pueden ser, en general, de tres tipos, cuyo uso dependerá de las condiciones del terreno y de la presencia de agua. Cimiento de pirca, formado por piedras grandes, de preferencia de forma angulosa, asentadas con barro. Cimiento de hormigón ciclópeo, de piedras grandes con hormigón simple. Cimiento de albañilería de piedra, con mortero de cemento o cal y arena gruesa. Las dimensiones mínimas de ancho y profundidad de los cimientos deben ser de 60 cm.

Los sobrecimientos suelen ser de dos tipos, de hormigón ciclópeo y de albañilería de piedra, con mortero de cemento o cal y arena gruesa. El ancho mínimo de los sobrecimientos es de 40 cm con altura mínima sobre terreno de 30 cm para proteger a los tapiales de la erosión. Además la norma E-080 recomienda el uso de lajas de piedra en las partes laterales del sobrecimiento (Downton, 2013) (ver Figura 2).

A continuación se prepara el suelo para construir los muros. Una vez seleccionado el suelo, la primera acción deberá ser someterlo a un proceso de tamizado, Luego, se lo coloca en bateas y se procede a mojarlo, suministrándole paja y agua en razón de 8 a 10 %. Luego de 48 horas, la masa de suelo está hidratada y la arcilla contenida en el suelo desarrolla su capacidad adhesiva. La paja atenúa la fisuración de la tapia por contracción de secado.

Por último, siguiendo las recomendaciones de la norma E-080, se verterá el suelo con el contenido de humedad adecuado, en capas de 15cm; se procederá a la compactación hasta llegar a los 10cm aproximadamente. La compactación se realizará con el pisón de 10kg aproximadamente. La cantidad golpes para el apisonado será hasta que se produzca el rebote. La capa superior de cada tapial será nivelada con una paleta de madera. Una vez terminada la primera hilada, se desplaza lateralmente el encofrado para proseguir el muro. Para colocar una segunda hilada se esperan 3 días como mínimo (ver Figura 3).



FIGURA 2 Fotografía del cimiento de un muro tapial durante su proceso de ejecución. (Downton, 2013)



FIGURA 3 Fotografía durante el proceso de ejecución del muro tapial.

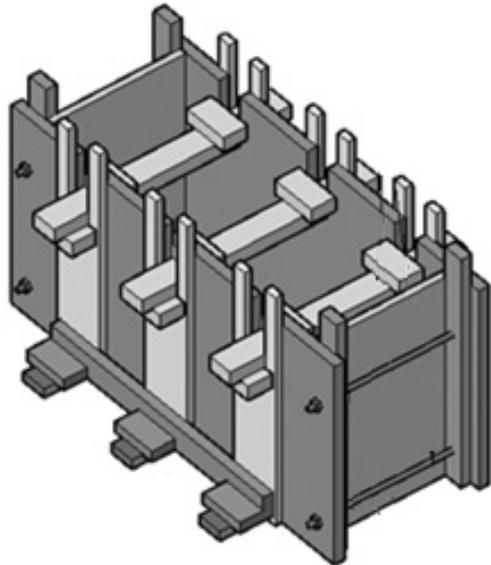


FIGURA 4 Fotografía durante el proceso de ejecución del muro tapial.



FIGURA 5 Fotografía del encofrado realizado para ejecución de muro tapial.

El encofrado

Lo que caracteriza la construcción de tapiales es el empleo de encofrados, dentro de los cuales se vierte el suelo ya preparado para ser compactado. Durante el proceso de construcción deberá conservarse la verticalidad de los muros y mantener constantes las dimensiones de ancho del muro, a pesar de las presiones laterales que ejerce el material apisonado. Por otro lado, concluida la compactación de un tramo de muro, será necesario retirar y desplazar el encofrado a su nueva ubicación evitando que sea necesario invertir mucho tiempo en su aplomado (Ríos, 2013).

En este trabajo se proponen las pautas que permitieron el diseño y desarrollo del encofrado para ejecución del muro tapial. Para ello se emplearon materiales de fácil obtención en el mercado, de bajo costo y fácil mantenimiento, de fácil disposición en obra y de fácil adaptación al módulo del sistema. En este sentido, se emplearon placas formadas por láminas de madera vinculadas con adhesivo a base de resinas fenólicas de 18mm de espesor. El encofrado necesario para materializar el 1er. bloque de Muro Tapial, necesita 4 tableros (2 Tableros Frontales + 2 Tableros Laterales), cuyas medidas son distintas. En tanto, el encofrado necesario para materializar otros bloques de muro tapial necesita 3 tableros (2 Tableros Frontales + 1 Tablero lateral).

Los 2 Tableros Frontales cuentan con 3 refuerzos, realizados con tablas de 1" x 3" de madera de Eucaliptus Grandis o Pino Elliotis), del lado exterior. Asimismo, los refuerzos cuentan con 2 ranuras, una superior y una inferior, para insertar, los rigidizadores de madera de 1/2" x 3", también de Eucaliptus Grandis o Pino Elliotis (Ver Figura 4). Cabe aclarar, que los tableros frontales, tienen topes verticales, en el sector donde se ubican los tableros laterales, de manera de que éstos últimos permanezcan inmóviles durante el llenado de los encofrados. Los tableros laterales cuentan, también, con 2 varillas roscadas, de 12 mm de diámetro, por lado, como resguardo de la inmovilidad. En la Figura 4 se observa un esquema del encofrado, en tanto en la Figura 5 una fotografía del encofrado terminado.

El diseño del encofrado propuesto tiene la posibilidad de reponer todas las partes que lo conforman, en conjunto o por separado, de una manera muy fácil y sencilla. La vida útil del encofrado, va a depender de la composición del material a verter, el clima, la rudeza de la mano de obra, la disposición final después del uso, etc. en consecuencia se considera que puede emplearse una cantidad aproximada de 20 bloques por equipo.

Caracterización del suelo para muro tapial

De manera previa a los estudios preliminares, en relación con el comportamiento higrotérmico y mecánico, en primer lugar se debe caracterizar el material con el cual se va construir el muro tapial, para avanzar en el comportamiento higrotérmico y mecánico. En este sentido, se enumeran los ensayos de caracterización del suelo, para luego profundizar sobre el comportamiento higrotérmico y mecánico. Entre los ensayos típicos de caracterización geotécnica del suelo se encuentra el de granulometría (partículas >80mm) (ASTM D6913), el ensayo del hidrómetro (partículas finas) (ASTM D7928), clasificación del suelo según el SUCS (determinación de Límites de Atterberg y pasante Tamiz 200), determinación de humedad natural del suelo (ASTM D2216), determinación de densidad del suelo (D7263) y ensayo Proctor estándar (ASTM D698).

Comportamiento higrotérmico del muro tapial

El presente capítulo desarrolla el estudio de los diversos tipos de ensayos normalizados para la determinación del comportamiento higrotérmico del muro tapial.

Este estudio se fundamenta en la necesidad de determinar la metodología más representativa que permitan la caracterización de los elementos constructivos (muro tapial con suelo loésico) desde el punto de vista bioclimático. Con un mayor desafío de por medio, ya que gran parte del suelo ubicado en la Provincia de Córdoba son los suelos loésicos, con características colapsables ante pequeños incrementos en su contenido de humedad.

El objetivo es, mediante la base de registros obtenidos en los ensayos, evidenciar el comportamiento higro-térmico del muro tapial, a fin de lograr la mejor composición de equilibrio en muros monolíticos compactados, que pueden o no estar estabilizados.

Los estudios realizados para la caracterización higrotérmica del suelo empleado en el muro tapial, indican que la metodología de trabajo y los ensayos correspondientes van variando según la disponibilidad de tecnologías y recursos disponibles. A continuación, se describen los ensayos que permiten identificar el comportamiento investigado, entre ellos los de conductividad térmica, permeabilidad al vapor de agua, método de retracción lineal, estabilidad agua estática, resistencia al escurrimiento de agua, absorción de agua por capilaridad y condensación.

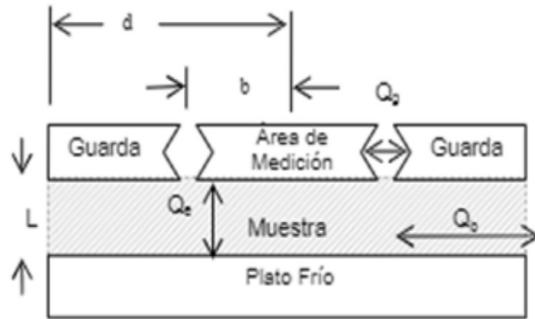


FIGURA 6 Esquema de la disposición de la muestra y placas del equipo para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes (Lira Cortés et al., 2008)

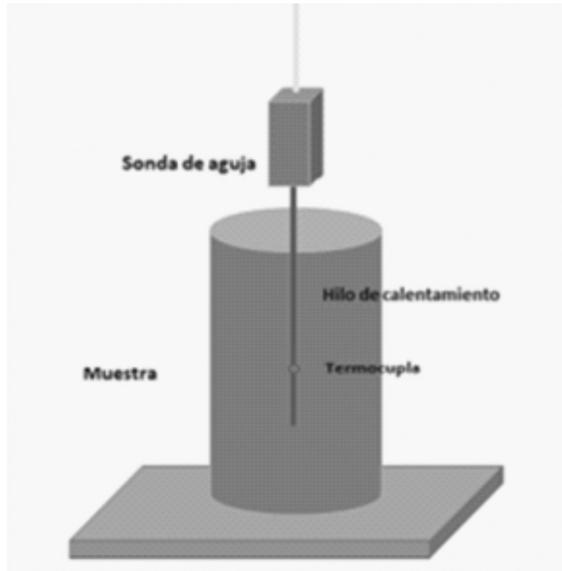


FIGURA 7 Esquema del ensayo método de la aguja (González Laria et al., 2018)

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que están en contacto (González Laria et al., 2018; Cuitiño et al., 2015; Allison y Hall, 2010; Lira Cortés et al., 2008). Se presentan dos alternativas para determinar este parámetro.

Método de la Placa Caliente con Guarda

El método de la placa caliente es uno de los ensayos que permiten medir la conductividad térmica (IRAM 11.559). El funcionamiento del equipo se basa en la ley de Fourier (Ec. 1) de conducción de calor en materiales sólidos

$$Q = - \lambda * A * dt/dx \quad (\text{Ec.1})$$

En donde Q es la velocidad de trasmisión del calor a lo largo del espesor medida en W/seg, λ es la conductividad térmica del material en W/m.s.°C, A es la sección del material, perpendicular al flujo de calor medida en m², dt es la variación de temperatura en °C entre la cara fría y la cara caliente y dx es el espesor en la dirección x y se mide en metros. Esta ecuación es válida solo cuando la probeta es atravesada por un flujo de calor uniforme y perpendicular a la misma con un régimen estacionario de temperatura. A los fines de realizar este ensayo resulta necesario contar con una placa fría, que haga contacto con una de las caras de la probeta, y una placa calefactora, que hace contacto con la otra cara de la probeta, rodeando todo este conjunto con un material aislante para evitar pérdidas de flujo, según puede observarse en el esquema de la Figura 6. Se utiliza una probeta de suelo de 30cm de lado o diámetro y 5cm de espesor, cuidando que las superficies obtenidas sean planas y lisas (Lira Cortés et al., 2008).

Método de la Aguja Térmica

La norma ASTM D5334-08 describe el dispositivo que permite obtener la conductividad térmica del material utilizando una única aguja que se inserta en la muestra a medir, como se observa en la Figura 7. Luego se aplica un voltaje conocido, registrando el aumento de temperatura que se produce en el material en un período de tiempo determinado (González Laria et al., 2018; Mosquera Arancibia, 2013). El dispositivo consta de una sonda (aguja me

tática que crea una fuente de calor lineal), en la misma se incorpora un termopar que mide la variación de la temperatura en un punto a lo largo de la aguja en °C. El material se perfora con un taladro ajustado al diámetro de la aguja y cuya longitud sea igual al largo de la aguja. En el caso de suelos blandos, la perforación se realiza con la misma aguja (Mosquera Arancibia, 2013). El equipo típico dispone de una aguja de acero inoxidable, de 100 mm de longitud y 2,4 mm de diámetro, en cuyo interior se instala un calentador de manganina y un termopar de funda metálica de 0,25 mm de diámetro, que se aíslan eléctricamente. La aguja se usa principalmente para determinar los efectos del cambio de densidad y del contenido de humedad en la resistividad de suelos y materiales de relleno. La muestra se coloca en un recipiente cilíndrico rígido con un diámetro de 10 cm, normalmente se aplica calor entre 0,2 y 0,5 W/cm.

Permeabilidad al vapor de agua

Este ensayo permite determinar el valor de permeabilidad de la muestra de suelo ante el paso del vapor de agua a través de la misma. El ensayo se realiza bajo los lineamientos de la Norma UNE-EN ISO 12572. La permeabilidad al vapor de agua es la cantidad de vapor de agua en (gramos) que pasa por unidad de superficie (m²) de un material de espesor (cm) por unidad de tiempo (día) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (mm Hg). Para la realización del ensayo se elaboran 3 probetas para cada muestra del mismo tipo de suelo, como mínimo con forma y tamaño normalizado (paralelepípedos de 4cm x 4cm y 2,20 cm aproximadamente de altura), también resulta factible la utilización de muestras circulares de 3 a 8cm de diámetro.

Luego, se colocan las probetas en recipientes cúbicos con agua deionizada en material absorbente (algodón o celulosa). El agua no debe tocar en ningún momento a la probeta (ver Figura 8). A continuación se sellan las aberturas y se pesa todo el equipo (probeta y taza). Se debe mantener la temperatura constante en 20±2°C. El pesaje se repite a intervalos constantes de tiempo cada 24hs durante 6 días (Ontiveros y Villegas, 1998). La permeabilidad al vapor se obtiene mediante la Ec. 2.

$$P = \frac{\Delta M}{S * t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde P es la permeabilidad en g/cm².h, ΔM es la diferencia de peso entre dos valores consecutivos expresada en g, S es la superficie de la muestra en cm² y t el tiempo en hs.

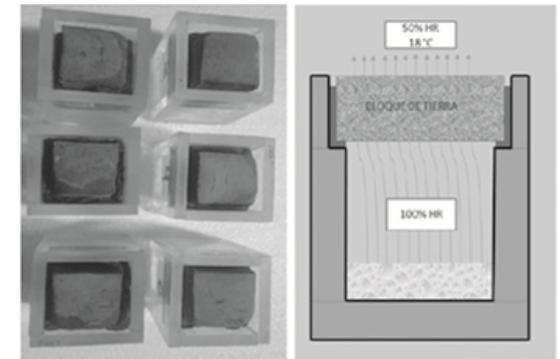


FIGURA 8 Ensayo de Permeabilidad al vapor de agua (izquierda) y esquema de la sección de ensayo según norma UNE-EN ISO 12572 (derecha) (López Dávalos A., 2018)

Método de retracción lineal

Tanto la expansión del barro al entrar en contacto con el agua como su retracción al secarse condiciones desventajosas para su uso como material de construcción. La expansión ocurre solo si el barro entra en contacto directo con mucha agua perdiendo así su estado sólido. No ocurre lo mismo con la absorción de humedad del aire que no conduce a la expansión. La magnitud de la expansión y la retracción depende del tipo y cantidad de arcilla.

A los fines de determinar la retracción lineal, y que las muestras de barro puedan ser comparables, las mismas tienen que tener una determinada plasticidad. Los pasos a seguir para lograr esa consistencia estándar están descritos en la norma alemana DIN 18952.

El ensayo de retracción se realiza de la siguiente forma:

1. El material se compacta reiteradamente con un pedazo de madera de 2x2 cm de sección dentro del molde.
2. Se deben hacer 3 muestras y desmoldar inmediatamente.
3. En la cara de 40 mm de la muestra se hacen, con la ayuda de una regla, dos rayas con cuchillo a una distancia de 200 mm.
4. Las tres muestras deben secar durante tres días en un espacio cerrado, con una temperatura ambiente de 20°C. Luego se calientan a más de 60°C en un horno hasta que no se puedan medir más retracciones.
5. El promedio de retracción de las tres muestras en relación a la longitud de 200 mm brinda una retracción lineal expresada en porcentaje. Si la retracción de una muestra difiere de las otras por más de 2 mm se debe repetir todo el proceso.

Estabilidad de agua estática

La estabilidad en agua estática se define a partir de la norma DIN 18952 (Parte 2). Para ello se sumerge en agua una muestra prismática de suelo a 5 cm de profundidad y se mide el tiempo en el que se disuelve la porción sumergida. De acuerdo a esa norma, las muestras que se desintegran en menos de 45 minutos son inadecuadas para la construcción con tierra. Para los procedimientos de la construcción con tierra este ensayo es innecesario, debido a que los elementos de tierra en ningún caso están permanentemente sumergidos en agua.

Resistencia al escurrimiento de agua

Durante la construcción generalmente no se protegen los elementos de tierra de la lluvia y son sensibles a la erosión, sobre todo si aún están húmedos. Para estar en condiciones de comparar la resistencia al escurrimiento de agua, de diferentes mezclas de barro, se desarrolla un equipo de ensayo en el cual se pueden ensayar hasta seis muestras a la vez.

El procedimiento consiste en lanzar chorros de agua con un diámetro de 4 mm, un ángulo de 45° y una velocidad de 3.24 m/seg, sobre las muestras para simular las peores condiciones de lluvia.

Analizadas las muestras de revoque de barro, luego de pasados tres años de exposición a las inclemencias del tiempo (lluvia y congelamiento), se puede distinguir que el barro arenoso tiene poca resistencia a la acción de la lluvia, pero es prácticamente resistente al congelamiento, cuando no tiene fisuras; y un barro con alto contenido de arcilla tiende a desarrollar fisura cuando seca y por eso es propenso a la erosión por congelamiento.

Absorción de agua por capilaridad

Es la capacidad del suelo de absorber agua a partir del transporte de la misma mediante acción capilar. Para el procedimiento de ensayo de absorción de agua por capilaridad se utiliza una muestra de agua y suelo de dimensiones de paralelepípedo de 4x4x16 cm.

Metodología del ensayo para calcular el coeficiente de absorción de agua. Se sumerge una cara de la probeta a 1 cm aproximadamente por un período de 10 minutos, su incremento de peso se mide periódicamente, la muestra no debe tocar el fondo del recipiente al momento de sumergirse. En este ensayo se deben sellar las cuatro caras laterales, de tal forma que el agua penetre solo por la cara inferior.

Condensación

La condensación se puede producir en los muros en lugares templados a fríos. Esta humedad reduce la capacidad de aislamiento térmico y suele provocar la presencia de hongos. Para reducir el peligro de condensación en los muros, la resistencia a la transmisión del vapor debe ser mayor en el interior que en el exterior y la resistencia a la transferencia de calor debe ser

mayor en el exterior que en el interior. En la práctica se usan barreras de vapor para contrarrestar este fenómeno de moho.

Los procedimientos de cálculo y verificación del riesgo de condensación superficial están establecidos en la Norma IRAM 11630.

Algunos antecedentes

En un estudio realizado en Toulouse, Francia, por Cagnon et al. (2014), se detalla el comportamiento higrotérmico de bloques de tierra comprimida (BTC). Para caracterizar dicho comportamiento, los autores realizaron ensayos de permeabilidad al vapor de agua junto con ensayos de conductividad térmica, por el método de la placa caliente. En este sentido, los autores confirmaron una elevada capacidad del BTC para absorber vapor de agua, además de determinar valores acordes a los publicados en la literatura respecto de las propiedades térmicas. Los autores concluyen que los ensayos realizados permitieron una correcta caracterización del comportamiento higrotérmico.

Maillard y Aubert (2016) estudiaron el comportamiento higrotérmico de ladrillos de tierra extruidos. Para ello realizaron ensayos de conductividad térmica, mediante el método de la placa caliente, y de permeabilidad al vapor de agua. Los autores pudieron caracterizar de manera apropiada dicho comportamiento mediante los ensayos realizados.

Cuitiño et al. (2015) utilizaron el análisis de transmitancia térmica en muros de quincha para caracterizar su comportamiento. Las muestras de quincha fueron ensayadas mediante el método de la placa caliente obteniendo resultados relevantes a los fines del estudio realizado. Se determinaron valores de transmitancia térmica para muro de quincha de diversos espesores y sin aislación térmica, comparando con un muro de ladrillo revocado en ambas caras de 0,20 m de espesor y ensayado bajo las mismas condiciones que los paneles de quincha, concluyendo que todos poseen una respuesta térmica similar.

Allinson y Hall (2010) estudiaron por medio de un software el comportamiento higrométrico de un muro de tierra. A los fines de determinar las propiedades higrotérmicas se realizaron ensayos de contenido de humedad en equilibrio en cada punto de saturación vs humedad relativa mediante el método descrito en BS EN ISO 12571. La transmisión de vapor de agua se midió a través del método de la taza (Norma ISO12572:2001). Los autores pudieron caracterizar el comportamiento, concluyendo además que los materiales de los muros de tierra

estabilizada son buenos amortiguadores de humedad y, por lo tanto, ideales para control pasivo de la humedad.

Arias et al. (2007) caracterizaron el comportamiento térmico de muros de tierra, comparados con bloques de hormigón y ladrillos cerámicos, determinando transmitancia y retardo térmico mediante la aplicación de programas de cálculos desarrollados por el Centro de Estudios de Energía y Medioambiente de la Universidad Nacional de Tucumán. Los autores concluyen que los muros de mampostería con componentes de tierra cruda resultan más apropiados que los realizados con ladrillos cerámicos macizos y bloques huecos de hormigón.

Por último, Costantini et al. (2016) estudiaron la mejora en el comportamiento térmico de la envolvente de un edificio, reemplazando el material constitutivo original por BTC estabilizados con cemento. Para dicho análisis se determinó la conductividad térmica del BTC estabilizado mediante el ensayo de la aguja térmica. Este ensayo permitió caracterizar la performance térmica de los BTC y simular el funcionamiento del edificio con el reemplazo propuesto. Los autores concluyeron que la opción de sustituir el material original mejoraría considerablemente el control de la variación de temperatura del lugar.

Comportamiento mecánico del muro tapial

La tierra es cada vez más valorada como material de construcción. En este sentido, dado el creciente interés por este antiguo material, y ante la falta de un marco legal, muchos países intentan normalizar su uso para resolver los problemas actuales derivados de la ausencia de una normativa que permita el uso de las técnicas de construcción con tierra cruda.

Luego del análisis del marco normativo para las construcciones con tierra cruda a nivel internacional, la Tabla 1 presenta el estado del arte de la normalización de la tierra cruda como material de construcción en el mundo, varias de éstas examinan las técnicas de adobe, BTC o tapial. Entre ellas se destacan el SAZ (Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures, SAZS 724:2001, Standards Association of Zimbabwe, Harare, 2001) y el BIS (Code of practice for in-situ construction of walls, in building soil-cement, IS 2110 Bureau of Indian Standards, 1980), exclusivas para tapial.

En el mes de Diciembre de 2019 se realizó el 5º Encuentro de la Red ProTierra. Esta red nuclea a referentes de la construcción con tierra de Argentina. Incluye a constructores, profesionales de la construcción e investigadores de distintas universidades del país. En esta reunión,

Tabla 1
Listado de normas y reglamentos encontrados

País	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST	Adobe	BTC	Tapial	Notas
Brasil	NBR 8491, 1986.		7					BTC estabilizado con cemento específica, métodos de ensayo.
	NBR 8492, 1986.		8					
	NBR 10832, 1989		9					
	NBR 10833, 1989		10			X		Procedimiento fabricación BTC con prensa manual/hidráulica
	NBR 10834, 1994.		11					Especificaciones y métodos de ensayo de bloques de suelo-cemento
	NBR 10835, 1994		12					
	NBR 10836, 1994	ABNT	13	X				
	NBR 12023, 1992		14					
	NBR 12024, 1992		15					
	NBR 12025, 1990		16					
NBR 13554, 1996		17						
NBR 13555, 1996		18					Métodos de ensayo para suelo-cemento	
NBR 13553, 1996		19				X		
Colombia	NTC 5324, 2004	ICONTEC	20	X	X			Estabilizado con cemento
EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	CID	21		X	X		Reglam. Estatal de Nuevo México.
	ASTM E2392 M-10	ASTM	22		X	X		
España	UNE 41410:2008	AENOR	23			X		Primera norma Europea
Francia	XP P13-901, 2001	AFNOR	24			X		Norma experimental
India	IS 2110: 1980	BIS	25	X			X	Paredes de suelo-cemento
	IS 1725: 1982.	BIS	26	X		X		
Italia	IS 13827: 1993	BIS	27		X	X		Directrices resistencia a terremotos
	Ley nº 378, 2004		28		X	X		Leyes para la conservación del patrimonio de tierra
Kenya	L.R. 2/06 2 2006		29		X	X		
Kenya	KS 02-1070: 1999.	KEBS	30	X		X		
Nigeria	NIS 369:1997.	SON	31	X		X		
Nueva Zelanda	NZS 4297, 1998.		32					
	NZS 4298, 1998.	SNZ	33		X	X		
	NZS 4299, 1999.		34					
Perú	NTE E 0.80, 2000	SENCICO	35		X			
	NTP 331.201, 1979	INDECOP I	36					
	NTP 331.202, 1979.		37	X	X			
	NTP 331.203, 1979.		38					
	39							
Regional África	ARS 670, 1996	ARSO	40					
	ARS 671, 1996		41					
	ARS 672, 1996		42					
	ARS 673, 1996		43					
	ARS 674, 1996		44					
	ARS 675, 1996		45					
	ARS 676, 1996		46					
	ARS 677, 1996		47					
	ARS 678, 1996		48					
	ARS 679, 1996		49					
	ARS 680, 1996		50					
	ARS 681, 1996		51					
	ARS 682, 1996		52					
	ARS 683, 1996							
Sri Lanka	SLS 1382-1:2009	SLSI	53	X		X		Bloques de suelo comprimido estabilizados
	SLS 1382-2:2009		54					
	SLS 1382-3:2009		55					
Túnez	NT 21.33:1996	INNORPI	56			X		En francés
	NT 21.35:1996		57			X		En francés
Turquía	TS 537, 1985.	TSE	58	X				En turco
	TS 2514, 1985.		59		X			
	TS 2515, 1985.		60					
Zimbabwe	SAZS 724, 2001.	SAZ	61			X		

Abreviaturas: ORG (Organismo); REF (Referencia, ver en bibliografía el número); EST (Estabilización, si solo contempla el uso de tierra estabilizada)

TABLA 1 Listado de normas y reglamentos vigentes en el mundo sobre construcción con tierra cruda

5º ENCUENTRO RED PROTIERRA – HUMAHUACA – JUJUY – 03 al 08 de diciembre de 2019

LUIS EDUARDO CANAVESI - ANÁLISIS COMPARATIVO DE ENSAYOS PARA MATERIALES DE TIERRA

Fuentes de recopilación de datos: NE 080 (Perú), NCT 5324 (Colombia), NBR 8491 (Brasil), FEB UNESP / PROTERRA 2011, NZS 4297 /4298 (Nueva Zelanda) NE 41410 (España), NM 14.7.4. 2016 (Nuevo México) y Normas de ensayo de Vialidad Nacional de la República Argentina para suelo-cemento

BTC, TAPIAL, MORTERO	BRASIL NBR 8491	ESPAÑA UNE 41410	COLOMBIA NTC 5324	NUEVO MEXICO NM 14.7.4.	NUEVA ZELANDA NZS 4298	NORMAS VIALIDAD NACIONAL
CAIDA DE LADRILLO Si no se supera esta prueba, se debe desechar todo el lote.					Se toma un ladrillo completo y bien curado desde uno de sus vértices y se lo deja caer desde la altura del hombro sobre una superficie dura, plana y horizontal	
ABSORCION DE AGUA	≤ 20% promedio, ≤ 22% individual (FEB UNESP / PROTERRA 2011)	La absorción de agua por capilaridad se determina según la Norma UNE EN 772-11: 2001, que es la usada para medir la absorción en probetas de hormigón		Saturación durante 4 horas. Luego se ensaya según la Norma ASTM D1633: "Ensayo de compresión para cilindros de suelo cemento". Se usa para determinar si el suelo está o no estabilizado	Remojar un ladrillo sobre "3 monedas 25ct" Método de ensayo y criterios de aceptación según se detalla en la Norma, con el objetivo de identificar los suelos reactivos	No hay una Norma VN específica de ensayo, pero es factible realizar la saturación de un bloque y luego ensayarlo a la compresión usando la Norma NV E33-67 y así replicar lo especificado en el Código NM 14.7.4 con la ASTM D 1633 -00
CICLOS HUMEDOS - SECOS		Ensayo de humedecido y secado. Tras 6 ciclos no se deben ver las fallas detalladas en esta Norma UNE 41410		No se ensayan ciclos, sólo se hace el ensayo de saturación		VN-E21-66 "Ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento" Muestras individuales
COMPRESION, MUESTRAS INDIVIDUALES	≥ 2,0 MPa promedio > 1,7 MPa individual (FEB-UNESP / PROTERRA 2011)	≥ 1,3 Mpa fractil 5% ≥ 3 Mpa fractil 5% ≥ 5 Mpa fractil 5% Se ensayan según la Norma UNE EN 772-1 : 2002	20 kg/cm ² promedio 40 kg/cm ² promedio 60 kg/cm ² promedio	300 psi promedio 250 psi mínimo (>1,72 MPa). Individual Se establece la velocidad de aplicación de la compresión	2,0 MPa fractil 5% (ensayo de canto) 3,2 MPa fractil 5% (ensayo de plano)	VN-E33-67 "Ensayo de compresión de probetas compactadas de suelo-cemento" Se ensayan muestras individuales
MODULO DE ROTURA, MUESTRAS INDIVIDUALES				50 psi mínimo (0,35 Mpa) Se detalla el ensayo de flexión a 4 puntos c/rodillos Ø 50mm	0,25 MPA fractil 5% Métodos: por palanca y ladrillos apilados Los métodos se detallan en esta Norma. Son ensayos de campo fácilmente replicables.	No hay Norma VN para este ensayo. Pero se podría construir un dispositivo y hacer en una prensa el ensayo de flexión a 3 puntos
CORTE DIAGONAL EN MURETES		Se realizan ensayos de morteros y bloques en muretes según las Normas UNE EN 998-2004 y UNE EN 1052-3:2003			Los ensayos en muretes en las Normas de nueva Zelanda se realizan de acuerdo al Apéndice 2B de la Norma NZS 4210. Ahí se establece el método de "llave inglesa" para ensayar todos los tipos de muros de mampostería, no sólo de ladrillos de tierra	No hay Norma VN para este ensayo
EROSION, MUESTRAS INDIVIDUALES Y MUROS		Ensayo de goteo según el método descrito esta Norma UNE 41410 Ahí se fijan los criterios de aceptación / rechazo			Spray y goteo Método y criterios de aceptación según lo especificado en esta Norma	No hay Norma VN para este ensayo
CONTRACCION					Contracción δ 0,05% para tierra apisonada Contracción δ 1% para mortero con cemento Contracción δ 3% para mortero sin cemento	No hay Norma VN para este ensayo
AGRIETAMIENTO		Hay criterios de aceptación o rechazo para cascaduras en los bordes y esquinas de los bloques, pero no hace		Se permiten grietas siempre que no pongan en riesgo la integridad del bloque No establece dimensiones de las grietas	En muros de tapial, 3mm de ancho máximo de grietas, cuando están en ambos lados del muro	No hay Norma VN para este ensayo
ESTRATIFICACION					Esta prueba se realiza de acuerdo a esta Norma para determinar si se encuentran diferentes tipos de suelos en los bloques Criterio de aceptación, según esta Norma	No hay Norma VN para este ensayo
DURABILIDAD POR CONGELAMIENTO Y DESHIELO		En esta Norma se preve que en aquellos casos severos, se deberá declarar; pero aún no hay una Norma Europea aplicable para este ensayo				VN-E22-66 "Ensayo de durabilidad por congelamiento y deshielo para mezclas de suelo-cemento"

TABLA 2 Cuadro comparativo de las normas internacionales respecto de las normas de la Dirección Nacional de Vialidad.

en donde se expusieron diversos temas sobre la construcción con muros de tierra, el Ing. Luis Eduardo Canavesi, investigador y docente de la Universidad de La Rioja, desarrolló un cuadro comparativo con los ensayos previstos en las distintas normas internacionales y los ensayos que las normas de la Dirección Nacional de Vialidad contiene y se emplean en Argentina. En la Tabla 2 se presenta el cuadro propuesto por Canavesi, proporcionado por el autor.

Cabe aclarar que la Norma española UNE 41410, la norma colombiana NTC 5324 y la norma brasileña NBR 8491 no son de aplicación para el muro tapial.

Por lo expuesto, resulta necesario el desarrollo de normas nacionales respecto del uso de tierra cruda como material de construcción, para que profesionales idóneos las utilicen a los fines de lograr construcciones seguras y eficientes.

Los ensayos correspondientes a la caracterización del comportamiento mecánico del muro tapial van variando según la disponibilidad de tecnologías y recursos disponibles. A continuación, se describen los ensayos que permiten identificar el comportamiento investigado, entre ellos el ensayo de erosión (método de pulverización y método de Geelong) y ensayo de compresión.

Ensayo erosión (Método de pulverización a presión)

El ensayo se realiza siguiendo los lineamientos de la norma NZS 4298-1988. La prueba consiste en rociar la cara de una muestra preparada del suelo, con un spray estándar, por un periodo de 1 hora o hasta que la muestra sea penetrada. La prueba se interrumpe a intervalos de 15 minutos y se registra la profundidad de la erosión.

La cara de la probeta a ensayar se coloca a 47cm del aspersor y se debe garantizar que la presión del agua que sale del rociador sea de 0,5bar.

La muestra debe curarse un mínimo de 28 días antes de la prueba.

En las Figuras 9 y 10 se muestran esquemas del ensayo del método de pulverización a presión.

Antes de colocar la probeta dentro del equipo debe corroborarse que la presión de agua erogada por el mismo sea la adecuada, para luego introducir la muestra dentro del equipo. El bloque debe colocarse de manera tal que el lado expuesto al chorro de agua sea una de las caras laterales. Una vez colocada la probeta en posición, se acciona el dispositivo presurizado de agua, comenzando en dicho momento a registrar el tiempo. El tiempo de exposición de cada probeta a la erosión por agua presurizada es de 120 minutos, interrumpiéndose el ensayo cada 15 minutos para observar el estado de probeta (sin mover a la probeta de su posición).

Una vez culminada la prueba, se retira la muestra del equipo y se evalúa el patrón de erosión.

Para evaluar el nivel de erosión se mide la profundidad de la erosión producida sobre la cara expuesta por efecto de la corriente de agua, en mm.

Ensayo de Erosión (Método de Geelong)

El ensayo se realiza siguiendo los lineamientos de la norma NZS 4298-1988. Se deben hacer probetas de 300mm x 300 mm x 125 mm de espesor con el material apisonado. La muestra debe curarse un mínimo de 28 días antes de la prueba. Luego, se abre la llave de agua del equipo y se espera el tiempo necesario para alcanzar el régimen estacionario, a partir del cual la altura del pelo de agua se mantenga constante (lo cual se evidencia por el escurrimiento de

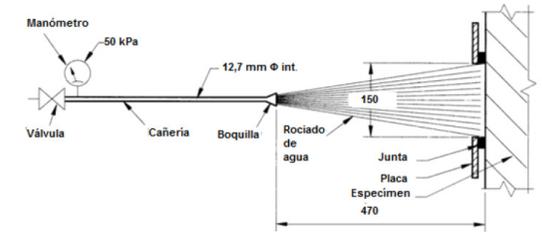


FIGURA 9 Disposición general para el ensayo de erosión de pulverización a presión

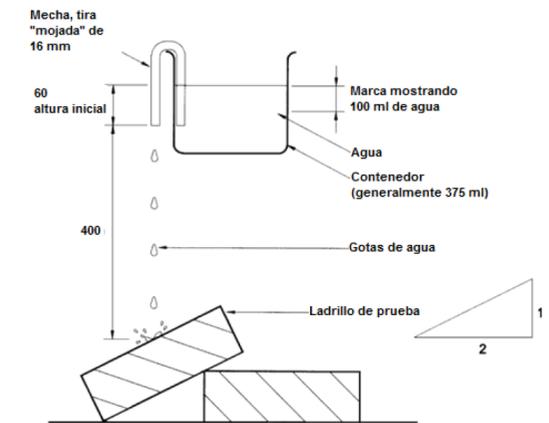


FIGURA 10 Boquilla para el ensayo de pulverización a presión

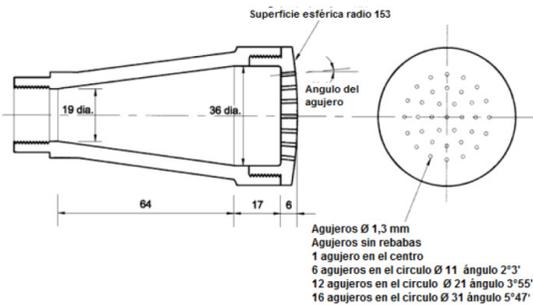


FIGURA 11 Prueba de Erosión del método de Geelong

agua por el orificio de rebalse). Alcanzada esta condición, se coloca la probeta (medio bloque) sobre la base de apoyo, la cual tiene un ángulo de inclinación de 27° , corroborando luego que la distancia entre la cara expuesta y el conducto de descarga sea de exactamente 100 cm, de lo contrario debe ajustarse el equipo hasta cumplimentar con este requisito. La probeta debe colocarse de manera tal que el lado expuesto a la corriente de agua sea una de las caras laterales. A partir de este momento comienza a correr el tiempo de ensayo, el cual, a diferencia de lo estipulado por la normativa española (10 minutos) es de 120 minutos. La Figura 11 muestra un esquema de este ensayo.

Ensayo de Compresión para mezclas suelo-cemento, suelo-cal

Este ensayo se realiza siguiendo los lineamientos de la norma VN-E33-67 y tiene por objeto determinar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas preparadas con mezclas compactadas de suelo-cal y suelo-cemento. Para ello se prepara suficiente cantidad de material para confeccionar tres probetas, con el contenido de humedad óptima del ensayo de compactación Proctor. Las muestras preparadas deben ser curadas en cámara húmeda por lo menos durante 12 horas.

Una vez curadas tienen que ser ensayadas de manera inmediata a su retiro de la cámara húmeda. Para ello se coloca una de las probetas en una máquina de ensayos de compresión cuidando que el eje vertical este en una sola línea con el centro del empuje de la rótula; cuando el cabezal superior toma contacto con la probeta se inclinará su parte móvil hasta que se obtenga un apoyo uniforme. Se debe aplicar la carga en forma continua y sin impactos. La velocidad de descenso del cabezal superior debe mantenerse de modo que la presión aumente a razón de $1,4 + 0,7 \text{ kg/cm}^2$ por segundo, dependiendo de la resistencia de la probeta. Una vez que la probeta rompe, se debe tomar nota de la carga total alcanzada, con una aproximación de 0,7 kg.

Dentro de las tipologías construidas con tierra cruda se destacan algunos otros ensayos que permiten caracterizar el comportamiento mecánico, tales como el ensayo de choque blando (IRAM 11585-11596) y duro (IRAM 11585-11595), el ensayo de flexión (IRAM 11598) y el ensayo de cargas verticales excéntricas (IRAM 11585), sobre los cuales no existen conclusiones acabadas respecto de su aplicación al sistema del muro tapial.

Agradecimientos

A la Secyt por el financiamiento

Al Ing. Luis Eduardo Canavesi por facilitar el cuadro comparativo con la normativa vigente en el país y el mundo.

Bibliografía

Allinson D. y Hall M (2010). *Hygrothermal analysis of a stabilised rammed earth test building in the UK*. *Energy and Buildings*. 42. pp. 845–852.

Arias L., Latina S., Alderete C., Mellace R., Sosa M. y Ferreyra I. (2007). *Comportamiento Térmico de Muros de Tierra en Tucumán, Argentina*. Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda. https://fci.uib.es/digitalAssets/177/177906_4.pdf

Bui Q. B., Morel J. C., Venkatarama Reddy B. V., Ghayad W. (2009). *Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering*. *Building and Environment* 44 (2009) 912–919.

Cagnon H., Aubert J.E., Coutand M. y Magniont C. (2014). *Hygrothermal properties of earth bricks*. *Energy and Buildings*, Vol. 80, pp. 208–217.

Canavesi L. E. (2019). *Guía para la construcción de viviendas de tierra sismorresistentes: Adobe, BTC y Tapial*. ISBN 978-987-42-8591-1.

Cid J., Mazarrón F.R. y Cañas I. (2011). *Las Normativas de Construcción con tierra en el Mundo*. *Informes de la Construcción*, Vol. 63, 523, 159-169, julio-septiembre 2011. ISSN: 0020-0883 e ISSN: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.10.011.

Costantini A.B., Carro Pérez M.E. y Francisca F.M. (2016). *Evaluación del comportamiento térmico de una edificación reemplazando el material de la envolvente por suelo-cemento*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 20, pp 33-43. ISSN 2314-1433.

Cuitiño G., Esteves A. y Hernández A. (2012). *Proceso de evaluación de un sistema constructivo. Caso de la quincha*. XXXV Reunión de Trabajo de ASADES. Octubre de 2012. Rosario, Argentina.

Cuitiño G., Esteves A., Maldonado G. y Rotondaro R. (2015). *Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha*. *Informes de la Construcción*, Vol. 67, N° 537, e063.

Dirección Nacional de Vialidad. *Normas de Ensayo*. 1° Distrito Buenos Aires.

Downton P. (2013). *Rammed earth*. *Yourhome*, Australia's guide to environmentally sustainable homes. Australian government. <https://www.yourhome.gov.au/materials/rammed-earth>.

Gonzalez Laria J., Sulaiman H., Costantini A.B., Gaggino R., Positieri M. y Kreiker J. (2018). *Medición de conductividad y cálculo de la transmitancia térmica de ventanas producidas con perfiles de plástico reciclado. Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 6, pp. 189-199. ISBN 978-987-29873-1-2.*

Lira Cortés L., González Rodríguez O.J. y Méndez Lango E. (2008). *Medición de la conductividad térmica de algunos materiales utilizados en edificaciones. Simposio de Metrología, pp. 1-5, México, 2008.*

Maillard P. y Aubert J.E. (2016). *Hygrothermal properties of extruded earth bricks. Actes du colloque Terra 2016, Lyon, France.*

Minke G. (2006). *Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture. Ed. Birkhäuser. Alemania. ISBN 10: 3-7643-7477-2.*

Montoya Robles J. M. (2017). *Construcción con tierra. Revisión y sustento de los ensayos de campo: Presencia de arcilla o resistencia seca y control de fisuración con arena gruesa. Tesis de grado Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.*

Mosquera Arancibia P. (2013). *Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid.*

Norma Neo zelandesa: NZS 4298 (1998)

Patrone J. C. y Evans J. M. (2006). *Evaluación térmica de una vivienda de suelo cemento en Florencio Varela. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 10, 2006. ISSN 0329-5184.*

Patrone J. C., García A. B., Nigro E. y Mazzeo J. P. (2005). *Sistema de muro monolítico con suelo estabilizado. Buenos Aires, Argentina. Construcción con tierra. Centro de Investigación Habitat y Energía, FADU UBA. 1ra edición: Buenos Aires. ISSN 1669-8932.*

Ríos, L. S. (2003). *Paredes Monolíticas. Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica. Habiterra. Red XIV.A. Graciela María Viñuelas (Ed.).*

Rotondaro R. (2004). *Arquitectura y construcción con tierra en la Argentina. Tradiciones, alternativas y direcciones futuras. 1er. Seminario Construcción con Tierra FADU - UBA.*

AMBIENTE
TECNOLOGÍA
DISEÑO
SUSTENTABLE

ATDS

-Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética-

Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico SeCyT 2018-2019

Ambiente, Tecnología y Diseño Sustentable. Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética

Director: Dr. Arq. Arturo Maristany

Codirector: Dra. Ing. Magali Carro Pérez

El programa integra los siguientes proyectos de investigación con subsidio SeCyT-UNC de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño y de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba:

Eficiencia luminotécnica y diseño arquitectónico. Importancia de su concurrencia en tipologías institucionales

Directora: Miriam Agosto - FAUD-UNC

Estrategias de diseño estructural con hormigón armado en proyectos de arquitectura argentina. Parte 2

Directora: Guadalupe Álvarez - FAUD-UNC

Aplicación de indicadores de sustentabilidad urbana en investigación proyectual de experiencias académicas en el Espacio Abierto Urbano Público. Casos de estudio en la ciudad de Córdoba

Director: Germán Baigorri - FAUD-UNC

Comportamiento higrotérmico y mecánico del muro tapial construido con limo loésico de la provincia de Córdoba

Director: Julio Capdevila - FCEfyN-UNC

Eficiencia de recursos energéticos e hídricos en los edificios

Directora: Magalí Carro Pérez - FCEfyN-UNC

Las envolventes arquitectónicas adaptativas como recurso de diseño sustentable en Córdoba

Director: Arturo Maristany - FAUD-UNC

Comportamiento ambiental y conservación preventiva del acervo bibliográfico en edificios de la Manzana Jesuítica de Córdoba, Argentina.

Directora: Alicia Rivoira - FAUD-UNC

ISBN 978-987-4415-80-6



9 789874 415806