



GESTION EN EDIFICACION

B&M

BUILDING & MANAGEMENT

BUILDING & MANAGEMENT
MAY - AUGUST 2018
ISSN 2530-8157



BUILDING & MANAGEMENT

VOLUME 2 ISSUE 2

BUILDING & MANAGEMENT

SCIENTIFIC e-JOURNAL

VOLUME 2 ISSUE 2

MAY - AUGUST 2018



Escuela Técnica Superior de Edificación
Universidad Politécnica de Madrid

ISSN: 2530-8157

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. ETSEM

Avenida de Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid
Phone: 913367611
www.edificacion.upm.es
e-mail: bm.edificacion@upm.es

DIGITAL EDITION
www.polired.upm.es

FRONT AND BACK COVERS IMAGES

Front:

Sewage pressurized heat exchanger. CICFANO Building

Property developer
UA University of Aveiro, Aveiro, Portugal

Construction Builder
Fernández Molina Obras y Servicios

Conception & Engineering for sustainable development and energy efficiency
ENERES

Back:

Sewage heat exchanger. CDM, Centro Deportivo Municipal de Moratalaz

Property developer
Ayuntamiento de Madrid

Construction Builder
Fernández Molina Obras y Servicios

Conception & Engineering for sustainable development and energy efficiency
ENERES

BUILDING & MANAGEMENT is an open access scientific e-journal published every four months that accepts original, high quality and not published manuscripts. The journal scope covers all the phases of the building: project, construction, in-use, maintenance and end-of-life, and comprises a wide range of activities associated with the management of building processes where various agents in the sectors of architecture, engineering and construction participate.

GESTIÓN EN EDIFICACIÓN es una publicación científica cuatrimestral en la que se incluyen trabajos originales, de alta calidad, que no hayan sido publicados en otras revistas. Su ámbito abarca todas las fases de proyecto, ejecución, operación, mantenimiento y fin de vida del edificio y comprende un amplio abanico de actividades asociadas a la gestión de los procesos del edificio en las que participan diversos agentes de los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

The criteria and opinions expressed in this publication are the sole responsibility of the authors. Copyright and intellectual property rights of published documents belong to their authors, who are responsible of the published material copyright.

Los criterios y opiniones expuestos son responsabilidad exclusiva de los autores. Los derechos de autor y la propiedad intelectual del material publicado pertenecen, así mismo, a sus autores, quienes son responsables de los permisos sobre derechos del material publicado.

EDITOR - IN - CHIEF / DIRECCIÓN DE REDACCIÓN

Imaculada Martínez Pérez

Universidad Politécnica de Madrid

MANAGING EDITOR / SECRETARÍA DE REDACCIÓN

Sonsoles González Rodrigo

Universidad Politécnica de Madrid

ASSOCIATE EDITORS / COMITÉ EDITORIAL

Patricia Aguilera Benito

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Francisco de Borja Chávarri Caro

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Gregorio García López de la Osa

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Julián García Muñoz

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

María de las Nieves González García

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Carolina Piña Ramírez

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

María Isabel Prieto Barrio

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Mercedes Valiente López

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

EDITORIAL ADVISORY BOARD / COMITÉ CIENTÍFICO

Antonio Baño Nieva

Universidad de Alcalá, Spain

Roberto Barrios Corpa

Intemac, Spain

Xavier Brioso

Universidad Católica Pontificia de Perú, Lima, Perú

Daniela Brizuela Valenzuela

Universidad Central de Chile, Santiago, Chile

Álvaro Cerezo Ibarrondo

Escuela Vasca EVETU del IVAP, Bizkaia, Spain

Alfonso Cobo Escamilla

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Miguel de Diego Elvira

IDOM, Spain

Luis de Pereda Fernández

Eneres / Instituto Europeo de Innovación, Spain

Emmanuel Dufresnes

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg/

Ministère de la Culture et de la Communication, France

Grupo SGS, Madrid, Spain

ARUP, Spain

CIEMAT, Spain

Universidad Costa Rica, Costa Rica

Consejo Arquitectos/ Comisión Europea

Dublin Institute of Technology, Ireland

Universidad de Burgos, Spain

Universidad Central de Chile, Santiago, Chile

Bialystok University of Technology, Poland

Conspace. Vía Célere, Spain

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

UNE. Asociación Española de Normalización, Spain

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

Universidad de Granada, Spain

Universidad Católica de Murcia, Spain

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Universidad de Sevilla, Spain

Property Tectonics/Salford University, Manchester, UK

Universidad Nebrija, Madrid, Spain

Universidad Católica de Murcia, Spain

Universidad Costa Rica, Costa Rica

Project Management Institute Madrid, Spain

Instituto Tecnológico de Galicia / BREAM, Spain

Universidad de Burgos, Spain

Universidad de Castilla la Mancha, Spain

Instituto Valenciano de Edificación/

Universidad Politécnica de Valencia, Spain

Acerta, Madrid, Spain

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Universidad de Castilla la Mancha, Spain

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Patricia del Solar Serrano

Ricardo Tendero Caballero

Nelia Valverde Gascuña

Amparo Verdú Vázquez

SUMMARY

EDITORIAL: THE BUILDING PROJECTS GRAPHIC PRESENTATION LA PRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PROYECTO EN EDIFICACIÓN Mercedes Valiente López	1
--	----------

ARTICLES

REQUIREMENTS FOR A BIM EXECUTION PLAN (BEP): A PROPOSAL FOR APPLICATION IN COLOMBIA REQUISITOS PARA UN PLAN DE EJECUCIÓN DE BIM (BEP): PROPUESTA DE APLICACIÓN EN COLOMBIA Juan Antonio Ramírez-Sáenz, Juan Martín Gómez-Sánchez, José Luis Ponz-Tienda, Juan Pablo Romero-Cortés & Laura Gutiérrez-Bucheli	5
CONSTRUCTION LABOR-PRODUCTIVITY ASSESSMENT USING SIX-SIGMA TOOLS: A CASE OF STUDY EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN CONSTRUCCIÓN USANDO HERRAMIENTAS SIX-SIGMA: UN CASO DE ESTUDIO Héctor Hernández & Gerald Oliveres	15
NEW APPROACH OF THE ACTORS IN THE BUILDING PROCESS IN PERU BETWEEN COMPARATIVE ANALYSES WITH SPANISH MODEL NUEVA VISIÓN DE LOS AGENTES DEL PROCESO EDIFICATORIO EN PERU A TRAVÉS DE SU ANÁLISIS COMPARADO CON EL MODELO ESPAÑOL Rafael Vicente Lozano, Yesenia Kim Guzmán & Silvana Sierra	23
CONSTRUCTION SITE LAYOUT OPTIMIZATION AND 3D VISUALIZATION THROUGH BIM TOOLS VISUALIZACIÓN 3D Y OPTIMIZACIÓN A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS BIM APLICADO A LOS PLANOS DE PROYECTO Oluseye Olugboyega & Olorunfemi Timothy Wemimo	35
TOWARDS SUSTAINABLE HOUSING: ABS INDUSTRIALIZED PASSIVE BUILDINGS HACIA LA VIVIENDA SOSTENIBLE: LOS EDIFICIOS INDUSTRIALIZADOS PASIVOS ABS Pedro García Sanmiguel & Julián García Muñoz	53
USE OF THE THERMAL ENERGY OF THE URBAN WASTEWATER NETWORK FOR THE THERMAL CONDITIONING OF THE SWIMMING POOL OF THE MORATALAZ SPORTS CENTRE. MADRID APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA TÉRMICA DE LA RED URBANA DE AGUAS RESIDUALES PARA EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LA PISCINA DEL POLIDEPORTIVO DE MORATALAZ. MADRID Luis de Pereda, José Fernández, Hugo Lanao & Marta Durango	66

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

81

DIGITAL EDITION

A digital version of this issue is available to readers, accessible and downloadable at <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

Existe a disposición de los lectores una versión digital del presente número, accesible y descargable en: <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

EDITORIAL

BUILDING & MANAGEMENT

MAY - AUGUST 2018

<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2018.2.xxxx>

MERCEDES VALIENTE LÓPEZ

BUILDING & MANAGEMENT

THE BUILDING PROJECTS GRAPHIC PRESENTATION

"AN ARCHITECT'S DESIGNS MUST ADHERE TO THE UNDOUBTED PERFECTION OF SYMMETRY AND BODY PROPORTION. IF A BUILDING AIMS TO GIVE US THE FEELING OF EURHYTHMY, IT IS ESSENTIAL THAT IT REFLECTS THESE NATURAL LAWS OF HARMONY AND BEAUTY"
VITRUVIUS

The presentation of building projects evolves in such a way that sometimes it exceeds us. The new concepts in project presentation make us feel out of place. That is why we propose continuous training throughout life (Long Life Learning).

You always have to be learning. What do we look for that we open a book, a magazine or a newspaper? What we seek is to learn and inform ourselves, but how? In what each one is capable of assimilating and receiving in each moment of our life. Hence the interest of Technical journals that allow us to be updated every time with the most important or current issues in the sector.

Considering the topic of graphic expression, it causes us an interest about how the new BIM technologies, infographic presentations, models with 3D printers will evolve. We cannot forget that the graphic expression increasingly depends not only on the foundations of geometry, but also on a good use of the manual drawing that develops mainly in the work, in the phases of setting out and details. But at the same time it means a backup for the drawing by computer that develops in the elaboration of the project, in its diverse parts basic project, of execution, etc. You have to learn to work with your hands. Our hands are means for thought. When they do not work to know or learn, they do it to think.

Drawing, sketching ... is a doing, a pleasure that becomes a way of thinking with your hands and those thoughts are united during the development of the project.

LA PRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PROYECTO EN EDIFICACIÓN

"LOS DISEÑOS DE UN ARQUITECTO DEBEN ATENERSE A LA INDUDABLE PERFECCIÓN DE LA SIMETRÍA Y DE LA PROPORCIÓN DEL CUERPO. SI UN EDIFICIO PRETENDE DAR UNA SENSACIÓN DE EURITMIA, ES FUNDAMENTAL QUE REFLEJE ESTAS LEYES NATURALES DE ARMONÍA Y BELLEZA"
VITRUVIO

La presentación de proyectos en edificación evoluciona de tal manera que a veces nos sobrepasa. Los nuevos conceptos en presentación de proyectos hacen que nos sintamos fuera de lugar. Es por ello que proponemos la formación continua a lo largo de toda la vida (*Long Life Learning*). Siempre hay que estar aprendiendo. ¿Qué buscamos los que abrimos un libro o una revista o un periódico? Lo que buscamos es formarnos e informarnos, ¿cómo? En lo que cada uno sea capaz de asimilar y recibir en cada momento de nuestra vida. De ahí el interés de las revistas Técnicas que nos permiten estar actualizados en cada momento con los temas más importantes o actuales en el sector.

Considerando el tema de la expresión gráfica, nos causa una inquietud al ver cómo evolucionan las nuevas tecnologías BIM, presentaciones infográficas, maquetas con impresoras 3D. No podemos olvidar que la expresión gráfica cada vez más, depende no solo de los bases de la geometría, sino también de un buen dominio del dibujo manual que se desarrolla principalmente en la obra, en las fases de replanteo y detalles. Pero a su vez de un apoyo en el dibujo por ordenador que se desarrolla en la elaboración del proyecto, en sus diversas partes proyecto básico, de ejecución, etc. Es preciso aprender a trabajar con las manos. Nuestras manos, son medios para el pensamiento. En el momento en que éstas no trabajan para conocer o aprender lo hacen para pensar.

Dibujar, croquizar... es un hacer, un placer que se convierte en

Therefore that is the value of the drawing and resides in its function as an instrument of reflection; remember the phrase of Alejandro de la Sota: *"I thought ..., I thought ... and, at a certain moment, his pencil, his tracer, undertake a fleeting and concise concretion of those thoughts. It was at that moment, in which the idea was, already, fully concreted allowing a pair of images to communicate its essence ..."* .

With computer drawing the architecture representation begins to be a fundamental issue, with the new computer systems of representation of drawing in two- three dimensions and the new BIM technologies.

While the CAD program uses only 2D or 3D geometry without differentiating the elements, the BIM program uses libraries of Intelligent and Parametric objects, which interprets the logical interaction between different types of objects and stores information about these objects.

In *"De Architectura"* book, the oldest surviving treatise on architecture, written in the 1st century BC. C. by Vitruvio, says that architecture rests on three principles: *"Beauty (Venustas), Firmeza (Firmitas) and Utility (Utilitas), so that matter can be defined as a balance between these three elements. The work in the building must adhere to the undoubted perfection of the symmetry and the body proportion. If a building aims to give a feeling of eurhythmy, it is essential that it reflects these natural laws of harmony and beauty."*

But the construction should not be forgotten, as Augusto Perret said: *"Construction is the architect's mother tongue; an architect is a poet who thinks and speaks in the language of construction."* Or as Aristotle told us *"By dint of building well, you get to be a good architect"*.

The buildings study helps us to understand architecture *"The house must be the case of life, the machine of happiness."* Le Corbusier. But as you look at it, how architecture is read is important, *"When you learn to see architecture not simply as an art more or less well done, but as a social manifestation, the critical eye becomes clairvoyant."* Louis Sullivan.

In the teaching of the presentation of the building project, our objective is to consider it from the point of view of the student.

We have to see it with the perspective of the one who starts his studies. As Colin Rowe states. *International Lotus Magazine*, nº 27. 1980. *"Take as objective to unravel the nature of what is there in the view of all and try to define what is the meaning of what concerns us. Architecture is a trade and like any other. However, it incorporates an ethical component which without it cannot be carried out fully. With many others, he shares that it is a shared secret that passes from some experts and other apprentices. Those who already know, professors and professionals are defenders and disseminators of a cause and this, is not another, that the defence of an art linked to a function. To develop it, it is necessary to know a technique, a transversal knowledge"*.

However, this can be analysed in a very varied way. Architecture owes its existence only to service to society. Because of its people can live better or sometimes worse.

In the lecture given by Colin Rowe, at the Museum of Modern

una forma de pensar con las manos y esos pensamiento quedan unidos durante el desarrollo del proyecto. Es por tanto que el valor del dibujo reside en su función como instrumento de reflexión; recordemos la frase de Alejandro de la Sota: *«Pensaba..., pensaba... y, en un determinado momento, su lápiz, su trazador, emprende una fugaz y concisa concreción de esos pensamientos. Era, ese, el momento en que la idea estaba, ya, cabalmente concretada permitiendo que un par de imágenes comunicaran su esencia...»*.

Con el dibujo por ordenador la representación de la arquitectura comienza a ser un tema fundamental, con los nuevos sistemas de representación del dibujo por ordenador en dos- tres dimensiones y las nuevas tecnologías BIM. Mientras que el programa de CAD utiliza sólo geometría en 2D o 3D sin diferenciar los elementos, el entorno BIM utiliza bibliotecas de objetos Inteligentes y Paramétricos, interpreta la interacción lógica entre los diferentes tipos de objetos y almacena la información referente a estos objetos.

En *"De Architectura"*, el tratado más antiguo que se conserva sobre la arquitectura, escrito en el Siglo I a. C. por Vitruvio, dice que la arquitectura descansa en tres principios: *"la Belleza (Venustas), la Firmeza (Firmitas) y la Utilidad (Utilitas), por lo que la materia se puede definir como un equilibrio entre estos tres elementos. El trabajo en la edificación debe atenerse a la indudable perfección de la simetría y de la proporción del cuerpo. Si un edificio pretende dar una sensación de eurtimia, es fundamental que refleje estas leyes naturales de armonía y belleza"*. Pero no se debe olvidar la construcción pues como decía Augusto Perret *"La construcción es la lengua materna del arquitecto; un arquitecto es un poeta que piensa y habla en el idioma de la construcción"*. O como nos decía Aristóteles *"A fuerza de construir bien, se llega a buen arquitecto"*.

El estudio de los edificios ayuda a comprender la arquitectura *"La casa debe ser el estuche de la vida, la máquina de felicidad."* Le Corbusier. Pero como se mira, cómo se lee la arquitectura es importante, *"Cuando aprendes a ver a la arquitectura no simplemente como un arte más o menos bien o mal hecho, sino como una manifestación social, el ojo crítico se vuelve clarividente"*. Louis Sullivan.

En la enseñanza de la presentación del proyecto en edificación nuestro objetivo es considerarlo desde el punto de vista del estudiante. Tenemos que verlo con la perspectiva del que empieza los estudios. Como manifiesta Colin Rowe. *Revista Lotus Internacional*, nº 27. 1980. *"Tomar como objetivo desentrañar la naturaleza de aquello que está ahí a la vista de todos y tratar de definir cuál es el sentido de lo que nos ocupa. La arquitectura es un oficio y como otro cualquiera, sin embargo lleva incorporado una componente ética sin la que no se puede llevar a cabo con plenitud. Con muchos otros comparte que se trata de un secreto compartido que pasa de unos ya expertos y a otros aprendices. Los que ya saben, profesores y profesionales son defensores y divulgadores de una causa y esta, no es otra, que la defensa de un arte vinculado a una función. Para desarrollarlo es necesario el conocimiento de una técnica, de un conocimiento transversal"*.

Sin embargo esta puede ser analizada de forma muy

Art in New York, where he states that contrary to what is usually thought, the teaching of architecture is a very simple matter.

Let summaries in three main tasks the teacher's task:

1. *"Encourage the student to believe in architecture and modern architecture.*
2. *Encourage the student to be sceptical of architecture and modern architecture.*
3. *Then, motivate the student to manipulate, with passion and intelligence, the matters of their beliefs and their doubts "*

Architecture and building are the most beautiful professions in the world; architecture is the materialization of ideas.

They are professions that are worthwhile, but that require a great effort. It is said that "architecture is not taught, it is learned..." with effort, with work, it is thought, it is drawn in strokes, it is digitized or rendered with the mouse, the pencil or the pen; looking, studying, analysing and discovering the building.

It is said that architecture must be read in its entirety. From the reading of the building still in ruins you can learn *"I have seen monuments; admirable remains of antiquity. From each ruin I have learned something; from each building I have absorbed something "*. Mimar Sinan told us.

I recommend to students that they do not repress that instinct to investigate; that observe, read, investigate, experiment, in other words, doubt. Let them go out and draw. Let them watch the details that, at first glance, you would not see. It is ideal to sharpen the architectural eye.

There is a lot of fear of blank paper. Do not be afraid of it. Many times scratching or drawing freely on it paper, the ideas will come to your mind. The muscular work that your arm does when drawing on paper will allow your ideas to connect.

Work is a big part of life, and building is one of the most exciting and rare professions. Our work can be enriching and rewarding, although also very absorbing, and as not stressful.

It is important to bear in mind that when we teach we are training people, not just future professionals. Being able to transmit illusion and love for what we do is a fundamental part of the process.

The learning of the building project needs the science, of new Constructive Technologies, Facilities, Structures, of the Presentation Programs, of the Graphic Expression, of so many concepts that cannot be detailed; you must learn to enjoy the architecture, of the building construction.

Of life, above all you must learn to think. And only then will you become a good professional. And with firm principles, a good person who is the goal of our teachings.

We finished our reflection on the Presentation of Projects in Building both from a teaching point of view in Building and the new technologies in graphic presentations with words from Norman Foster *"My advice for young architects is: Ask yourself if architecture is what that you really want to do more than any-*

variada. La Arquitectura debe su existencia únicamente al servicio a la sociedad. Por su causa las personas pueden vivir mejor o a veces peor. En la conferencia pronunciada por Colin Rowe, en el Museo de Arte Moderno de Nueva York, donde afirma que al contrario de lo que habitualmente se piensa, la enseñanza de la arquitectura es una cuestión muy simple. Resume en tres cometidos principales la tarea del profesor:

1. *"Animar al estudiante a creer en la arquitectura y en la arquitectura moderna.*
2. *Animar al estudiante a ser escéptico con la arquitectura y con la arquitectura moderna.*
3. *Después, motivar al estudiante para que manipule, con pasión e inteligencia, las materias de sus creencias y sus dudas"*.

La arquitectura y la edificación son las profesiones más bonitas del mundo, la arquitectura es la materialización de las ideas. Son unas profesiones que merecen la pena, pero que requieren un gran esfuerzo. Se dice que "la arquitectura no se enseña, se aprende..." con esfuerzo, con trabajo, se piensa, se dibuja en trazos, se digitaliza o renderiza con el ratón, el lápiz o la pluma; mirando, estudiando, analizando y descubriendo la edificación. Se dice que hay que leer arquitectura en toda su extensión. De la lectura del edificio aun en ruinas se puede aprender "He visto monumentos; admirables restos de la antigüedad. De cada ruina he aprendido algo, de cada edificio he absorbido algo". Nos decía Mimar Sinan

Yo a los alumnos les recomiendo que no repriman ese instinto de investigar; que observen, lean, investiguen, experimenten, en otras palabras, duden. Que Salgan a la calle y dibujen. Que miren que observen los detalles que a simple vista no verías. Es ideal para agudizar el ojo arquitectónico. Se tiene mucho miedo al papel en blanco. No le tengas miedo. Muchas veces rayando o dibujando libremente sobre él papel, las ideas vendrán a tu mente. El trabajo muscular que hace tu brazo al dibujar sobre el papel, permitirá que tus ideas se conecten.

El trabajo es una gran parte de la vida, y la edificación es una de las profesiones más apasionantes y raras que hay. Nuestro trabajo puede ser enriquecedor y gratificante, aunque también muy absorbente, y como no estresante. Es importante tener en cuenta que cuando enseñamos estamos formando a personas, no solo a futuros profesionales. Poder transmitir la ilusión y el amor por lo que hacemos resulta parte fundamental del proceso. El aprendizaje del proyecto de edificación necesita de la ciencia, de nuevas Tecnologías Constructivas, Instalaciones, Estructuras, de los Programas de Presentación, de la Expresión Gráfica, de tantos y tantos conceptos que no se pueden detallar, se debe aprender a disfrutar de la arquitectura, de la edificación de la construcción. De la vida, sobre todo se debe aprender a pensar. Y solo así se llegará a ser un buen profesional. Y con unos firmes principios, una buena persona que es el objetivo de nuestras enseñanzas.

Terminamos nuestra reflexión sobre la Presentación de

thing else in the world, and if you would do anything to be able to do it [...] If that is the case, you have made the right decision, and you must go behind it, immerse yourself, saturate yourself completely, live it every second of your life. If you do not believe in it enough, then you have to find something that you believe in, something different. And it does not really matter what it is, because in life, I think, you will find that everything is creative".

Proyectos en Edificación tanto desde un punto de vista de la docencia en Edificación como de las nuevas tecnologías en presentaciones gráficas con unas palabras de Norman Foster "Mi consejo para los arquitectos jóvenes es: Preguntarse si la arquitectura es lo que realmente quieres hacer más que ninguna otra cosa en el mundo, y si harías cualquier cosa para poder hacerlo [...] Si ese es el caso, has tomado la decisión correcta, y debes ir detrás de ello, sumergirte, saturarte completamente, vivirlo cada segundo de tu vida. Si no crees en ello lo suficiente, entonces tienes que encontrar algo en lo que creas, algo diferente. Y no importa realmente lo que sea, porque en la vida, pienso, encontrarás que todo es creativo."



J. A. Ramírez-Sáenz, J. M. Gómez-Sánchez, J. L. Ponz-Tienda, J. P. Romero-Cortés and L. Gutiérrez-Bucheli "Requirements for a BIM execution plan (BEP): a proposal for application in Colombia". Building & Management, vol. 2(2), pp. 05-14, 2018

<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2018.2.xxxx>

PAPER BM_18_02_02

RECEIVED 10/04/2018

REVISED 14/07/2018

ACCEPTED 06/08/2018

PUBLISHED ONLINE 31/08/2018



Requirements for a BIM execution plan (BEP): a proposal for application in Colombia

Requisitos para un plan de ejecución de BIM (BEP): propuesta de aplicación en Colombia

JUAN ANTONIO RAMÍREZ-SÁENZ

C.Eng, Universidad de Los Andes, Department of Civil & Environmental Engineering. ja.ramirez917@uniandes.edu.co

JUAN MARTÍN GÓMEZ-SÁNCHEZ

C.Eng, Universidad de Los Andes, Department of Civil & Environmental Engineering. jm.gomez14@uniandes.edu.co

JOSÉ LUIS PONZ-TIENDA

PhD., MSc, MBA, B.Eng, Universidad de Los Andes. Department of Civil & Environmental Engineering. jl.ponz@uniandes.edu.co

JUAN PABLO ROMERO-CORTÉS

MSc, C.Eng, Universidad de Los Andes, Department of Civil & Environmental Engineering. jp.romero985@uniandes.edu.co

LAURA GUTIÉRREZ-BUCHELI

MSc, C.Eng, Universidad de Los Andes, Department of Civil & Environmental Engineering. la.gutierrez725@uniandes.edu.co

- ◊ The BEP is a document developed by all the stakeholders that defines the use of BIM in a specific project.
- ◊ The development of a BEP is crucial for a better planning and understanding in the management of BIM in a project.
- ◊ The BEP could solve crucial problems in the Colombian AEC industry when implementing BIM in a project.
- ◊ The BEP is a powerful tool to enable communication and coordination among the stakeholders.
- ◊ A granularity review is made in a selection of 20 BEPs around the world to analyze their content.

The Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry in Colombia is starting to implement Building Information Modeling (BIM) in their projects but in a much unorganized way. This issue could be attributed to a lack of unique and public BIM standards and guidelines for the implementation along with the inexistent support to the industry from the Government on the road to implementation. The BIM Execution Plan (BEP) is a procedural process that outlines the project's overall vision with implementation details for the project team to follow throughout the project. In this study, the authors reviewed 20 BEPs searching for the presence of some identified and analyzed subcomponents to determine which documents were more robust. By performing a 27-question survey to understand how different BIM tools affect a BIM implementation, we investigated about the experience of some companies in the industry with five in depth interviews conducted to AEC Colombian professionals. Finally, a presentation of a BEP template that uses the analyzed documents and the identified problems in the interviews, along with an explanation of how was the use of information obtained to develop the new BEP template. Conclusions and recommendations are provided to enhance the BIM implementation in Colombia along with the template and the support files that can also help to develop and integrate future BIM process tools methodologies.

Building Information Modeling (BIM); BIM Execution Plan (BEP); BIM Standards; BIM Guidelines; Colombia

- ◊ El BEP es un documento desarrollado por todos los actores interesados, que define el uso de BIM en un proyecto específico.
- ◊ El desarrollo de un BEP es crucial para planear y comprender mejor la gestión de BIM en un proyecto.
- ◊ El BEP podría resolver problemas cruciales en la industria colombiana de AEC al implementar BIM en un proyecto.
- ◊ El BEP es una herramienta poderosa que permite la comunicación y coordinación entre las partes interesadas.
- ◊ Se realiza una revisión de especificaciones en una muestra de 20 BEP en el mundo analizando su contenido.

La industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) en Colombia está empezando a implementar Building Information Modeling (BIM) en sus proyectos, pero de una manera muy desorganizada. Este problema podría atribuirse a la falta de normas y pautas de carácter unificado y público para la implementación de BIM junto con el apoyo inexistente a la industria por parte del gobierno en el camino hacia dicha implementación. El Plan de ejecución BIM (BEP) es un procedimiento enmarcado en procesos BIM que describe la visión general del proyecto con detalles de implementación para que el equipo siga a lo largo del ciclo de vida del proyecto. En este estudio, los autores revisaron 20 BEPs en busca de la presencia de algunos subcomponentes identificados y analizados para determinar qué documentos eran más robustos. Al realizar una encuesta de 27 preguntas para comprender cómo diferentes herramientas BIM afectan su implementación, investigamos sobre la experiencia de algunas empresas en la industria con cinco entrevistas a profundidad realizadas a profesionales colombianos de AEC. Finalmente, hay una presentación de una plantilla de BEP que se basa en los análisis de los resultados y los problemas identificados en las entrevistas, junto con una explicación de cómo se utilizó la información obtenida para desarrollar la nueva plantilla de BEP. Se presentan conclusiones y recomendaciones para mejorar la implementación de BIM en Colombia, además de una plantilla y los archivos de soporte para que cada empresa que desee desarrollar su propio BEP pueda revisar la información presentada en este documento.

Building Information Modeling (BIM); Plan de Ejecución BIM (BEP); Estándares BIM; Guías BIM; Colombia

1. INTRODUCTION

Building Information Modeling (BIM) is the process for creating and managing information on a construction project across all its lifecycle, where the building information model, as a digital description of every aspect of the built asset [1], is the key output of this process. In other words, BIM is fundamentally a different way of creating, using, and sharing building lifecycle data [2].

This methodology represents a change of paradigms in the way the AEC industry works, to guarantee the realization of the benefits that BIM offers. This paradigm shift imposes new challenges to the industry due to changes in the contracting strategy, its proper execution in projects and the need of a strong collaboration between project stakeholders, among others [3].

Being this last one, a crucial aspect in the success of implementing BIM in the industry. Nevertheless, the AEC industry is highly fragmented with a lack of full team integration that leads to the fact that the information is difficult to generate, exchange and coordinate, leading to low productivity delays and cost overruns [4].

The AEC industry plays a major role in the economy of Colombia, with an influence growth from 7,2% to 9,4% in the Gross Domestic Product (GDP) between 2010 and 2016 [5]. According to the National Administrative Department of Statistics, known as Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) in Colombia, construction sector in the AEC industry has grown a 0,9% in the last trimester of 2016 and the infrastructure sector has grown a 5,1% [6].

Although the importance of this sector is very high, like in other countries, construction results in a very inefficient industry, there is a lot of fragmentation, with multidisciplinary and uncoordinated designs and interferences that lead to a significant amount of rework, implying delays, unanticipated field costs, undesired legal implications and a poor-quality final product.

According to a study accomplished by Los Andes University [7], the level of BIM implementation in Colombia remains very low. Although there is a noticeable shift from the traditional 2D drawings to 3D visualization models, the most important components are still lacking, as the integration needed for BIM to accomplish its major benefits, the full collaboration between the stakeholders of the project and the interoperable data for them to work.

Even though Colombian AEC industry is trying to implement BIM on its projects, the industry must overcome some important barriers. The main barrier in the companies' workflow is the resistance to change from standard to integrated and collaborative processes.

Another problem identified in the study is that, once companies in Colombia decide to use BIM in their projects, they find that their suppliers do not use it or are just starting in the learning process, which means that the use of BIM is not homogenous in the industry and that leads to a very slow implementation

process.

Another barrier found is the lack of qualified staff and the absence of a clear framework that regulates the liability of BIM professionals. In conclusion, a BIM implementation imposes new and difficult challenges that can lead to conflicts between the stakeholders of the project. BIM requires new skills, new strategies, new ways to interact with the designs and new forms of business configuration in order to facilitate effective collaboration and integration in the different project teams [8].

A way to facilitate a BIM implementation process in a project, in an organized and efficiently manner is through the establishment of a BIM Execution Plan (BEP) before starting the design phase. The BEP is a procedural process that outlines the project's overall vision with implementation details for the project team to follow throughout the project. Also, it helps the employer and the project members to document the agreed BIM deliverables and processes for the project, defining roles and responsibilities for each of those deliverables [9].

To help practitioners and organizations in the BIM implementation process, this paper will outline the necessity of the creation and adoption of BEP in every project that aims to use BIM to create value in any sense. In this line, firstly, an in-depth analysis of the BEP models found in the literature to build a compiled and detailed model with the generally accepted best practices. Secondly, a comparison of this model with experiences in the AEC Colombian industry to establish a benchmark to help organizations to be more efficient and cost effective. Thirdly, a proposal for a BEP's template is made inspired by the literature review and the problems the AEC Colombian industry is experimenting. Finally, a presentation of some conclusions and recommendations.

2. METHODOLOGY

The main method used to review and analyze the BEPs was conventional qualitative content analysis [10], because the authors were looking to describe what the academy and the AEC industry understand for BEP and what has been developed in the last decade.

The investigation used a sample set of 20 documents from around the world from different types of organizations: academic institutions, government construction authorities, state government, government agencies, private companies and industry non-profit organizations. In order to analyze the BEP's granularity, this study evaluates the content of some components in these documents, reviewing at the same time if they contained some subcomponents, which also emerged from the same review.

The main components considered were taken from the BEP section in a study conducted by [11], with some minor modifications and a few additions. The description of the components and subcomponents is in the next section.

Additionally, the authors designed a survey and conducted five in-depth interviews that was composed of 27 questions. The survey consisted of the following topics: (a) project

management and the use of BIM in the organization; (b) subcontractor's management; (c) BIM models' authors and users; (d) BEP structure; (e) BIM use in the Colombian AEC industry; (f) quality control and control of advances; (g) use of protocols, software and hardware and (h) information management. As for the respondents, 17 Colombian AEC industry's main professionals were invited to reply the interviews; however, only five (29%) accepted the invitation.

From those who responded, four were mainly from large companies and one of them from a subcontractor organization. The research ends with some conclusions and recommendations for future studies on the subject.

At the end, there is a presentation of a BEP template proposal using the analysis of the 20 documents reviewed on this paper. This aims to achieve: 1) to decrease the lack of BIM processes that Colombian AEC industry is experimenting and 2) to show how can be a conception of a BEP template, so the industry can replicate this exercise to either have their own BEPs or come together to define a standard industry BEP template.

3. GRANULARITY REVIEW ON THE BIM EXECUTION PLANS

BIM enables exploration and optimization across multiple dimensions of cost, quality, and schedule, through simulation of a building's environment [12]. BIM implementation process in any given project should be designed according to each projects' requirements and should enable collaboration within the stakeholders and a clear understanding of the information exchange process in favor of being successful.

This is why effective BIM execution requires a comprehensive research due to high levels of information and collaboration necessities [13]. This is the reason why the BEP is a central component of the preparation for any construction project using BIM [11].

It frameworks the overall vision along with implementation details for the project team to follow throughout the project, it should be elaborated in the early stages of the project and be continually developed as new participants are added, being monitored, updated, and revised as needed throughout the implementation phase of the project.

The BEP should define the scope of BIM implementation, identify the process flow for BIM tasks, define the information exchanges between parties and describe the required project and company infrastructure needed to support the implementation, among others.

Through this process, the project team members can perceive some value added, among these, it is worth mentioning that all the parties will clearly understand and communicate the strategic goals for implementing BIM on the project. In addition, organizations will understand their roles and responsibilities in the implementation.

Likewise, the team will be able to design an execution process, which is well suited for each team member's business practices and typical organizational workflows and the purchasing divisions will be able to define contract language to ensure that all project participants fulfill their obligation and even

more.

By drawing up a BEP, the entire team will gain value through the increased level of planning by reducing the unknown in the implementation process, thereby reducing the overall risk to all parties and the project [14]. For example, a research conducted by the Taipei University of Technology [15] about a case study of a project in Taiwan, in which a BEP was designed for Facility Management (FM), the results demonstrated that the BEP created for that project was an effective management approach for operation maintenance management.

The authors stated that the advantages of the proposed BIM Execution Plan lie not only in how the maintenance management work becomes more efficient by integration with BIM technologies, but also in how the value and benefits of BIM are maximized to support maintenance management. This clearly shows the importance of developing management tools as the BEP is, for maximizing the value added of BIM in the projects.

In a country that is starting to implement BIM, like Colombia, the development of standards and studies around this topic would help the AEC industry in organizing around the use of BIM to maximize its contribution in the projects as is shown in the Taipei case study.

This paper evaluates the granularity and composition of a selection of BEP documents to outline the importance of this kind of document and its importance in the BIM implementation in Colombia.

As stated above, a thematic division of the documents resulted in different components, from which abstracted subcomponents allowed the authors to evaluate the granularity of each component, with the aim of understanding their structure and foundation. The following is a description of the revised components with their subsequent subcomponents, as described in Table 1:

- **Template:** it is important to consider whether the BEP supplies a template for the user to fill it with project data, following the recommended components that the BEP presents. This makes it easier for the final user to implement a specific BEP in a project. This component indicates whether the BEP provided a template or not.
- **Descriptive or prescriptive BEP:** this component studies the taxonomy of each of the BEPs. Descriptive means whether the BEP depicts or illustrates the recommended steps to take to develop a BEP. On the other hand, prescriptive means whether the document orders or requires the mandatory use of some aspects of its implementation by the owner of the project organization [16].
- **BIM Project scope:** this point specifies the use that BIM models will have in order to carry out the appropriate parameterization in the initial stage of the project.

For this component, the presence of the following subcomponents was studied: Project information, Project acquisition strategy and BIM objectives.

– **Legally binding document:** this review seeks to indicate whether the BEP document represents a legal bound between all parties involved in the project.

This component indicates only if the document is legally binding or not.

– **Roles and responsibilities:** role that each stakeholder plays during the project’s lifecycle and it defines the specific work associated with each role. In addition, there is clear relationships identification among tasks and identified BIM uses.

For this component, it was studied the presence of the following subcomponents: Responsibility matrix and BIM manager profile.

– **Collaboration/communication:** is the methodology that the project team will use to guarantee a smooth flow of information between the stakeholders and how they will collaborate with each other in general.

For this component, it was studied the presence of the following subcomponents: Reunion schedule of BIM coordination: it is the scheme of reunions regarding the use of BIM in the project, Key project contacts in BIM use and Collaboration & communication strategy.

– **Information exchange:** this component checks if the BEP uses existing protocols or standards or specifies the project requirements for information exchange.

The use of protocols ensures the correct exchange of BIM models so that information is not lost and is always readable and useful to all parties involved. This also checks the presence of BIM processes which are curtail for goal fulfilment, collaboration and data flow [17].

For this component, it was studied the presence of the following subcomponents: Type of model’s format delivery, Process Maps and Information exchange worksheets: it is a template that relates the responsible parties to the information that will be exchanged and its requirements

– **Analysis plan and tools:** are the types of agreed analysis and tools that the designers will perform from the BIM models with its corresponding tool (software). This component indicates if it was stated or not.

– **BEP document update procedures:** the BEP is a dynamic and living document that must fit the needs of the project throughout its entire lifecycle and shall be continually developed and refined throughout the project development. Therefore, there should be a clear, concise and agreed way about the BEP’s modification or update procedure. This component indicates whether the procedure specification existed or not.

– **Deliverables/documentation:** is the delivery and delivery form that each discipline performs at each defined milestone of the project, with the specific presentation format, the parties involved and the way in which the information is registered.

For this component, it was studied the presence of the following subcomponents: BIM deliverables, drawing production and BIM deliverable schedule: is the agreed estimate time for the handover of the deliverables.

– **Modeling requirements:** this component refers to the different requirements that modelers must comply with

Component	Subcomponents and/or Symbol
Template provided	Yes (Y) or No (N)
Descriptive/ prescriptive	Descriptive (D) or Prescriptive (P)
BIM Project Scope	◆ Project information
	■ Project acquisition strategy
	▲ BIM objectives
	● BIM uses
Legally binding document	Yes (Y) or Not (N)
Roles & responsibilities	◆ Responsibility matrix
	■ BIM manager profile
Collaboration/ communication	◆ Reunion schedule of BIM coordination
	■ Key project contacts in BIM use
	▲ Collaboration & communication strategy
Information exchange	◆ Type of model’s format delivery
	■ Process Maps
	▲ Information exchange worksheets
Analysis plan and	Yes (Y) or No (N)
BEP document update procedures	Yes (Y) or No (N)
Deliverables/ documentation	◆ BIM deliverables
	■ Drawing production
	▲ BIM deliverable schedule
Modeling requirements	◆ Level of Development and/or Level of Detail (LoD)
	■ Modeling guidelines
	▲ Family naming convention
	● Modeling standards
Model management	◆ How models will be handled
	■ How models will be saved, stored, named, etc.
	▲ Responsible for As-Built model creation
IT software & hardware	◆ BIM software used
	■ Software versioning management
	▲ Hardware specification
	● Security and backups

Table 1: Components Subcomponents and/or Symbol

when modeling parametric objects. The modeling requirements depend on the scope defined in an earlier component.

The importance of this component lies in the direct correlation of the Level of Development of a model and the certainty of the daily work orders of a project. "When LOD 300 is used, only 29% of the daily work orders have corresponding elements in BIM, whereas when LOD 400 is used, 98% of the daily work orders have corresponding elements in BIM" [18].

For this component, it was studied the presence of the following subcomponents: Level of Development and/or Level of Detail (LoD), Modeling guidelines, Family naming convention and Modeling standards.

- **Model management:** as project teams should define and document their global strategy for quality and management control of the model, it was studied in the BEP the presence of the following subcomponents for this component: how models will be handled, how models will be saved, stored, named, etc. and, responsible for As-Built model creation.
- **IT hardware & software:** it is the definition of the technological aspects that each interested party will be using in the development of the project. It defines the software and the version in which each discipline will generate its respective BIM model, how the version update management will be and the capacity of the hardware that everyone uses to facilitate the exchange of information and communication between all the parties.

Document Name	Document short name	Publishing organization	Organization Type	Country	Publication date
AEC (CAN) BIM Protocol	CanBIM	CanBIM	Industry non-profit organization	Canada	2014
AEC (UK) BIM Protocol Project Execution Plan	AEC	BIM UK Committee	National Standards Agency	UK	2012
Autodesk BIM Deployment Plan	AutoD	Autodesk Inc	Private Company	US	2010
BIM Execution Plan BIM for Architects, Engineers and Contractors	UF	University of Florida	Academic institution	US	NF
BIM Guidelines & Standards for AEC	Indiana	Indiana University	Academic institution	US	2012
BIM project execution planning guide	Penn	The Pennsylvania State University	Academic institution	US	2011
BS 1192-4 and PAS 1102-2:2013	UK	BSI Standards Limited	National Standards Agency	UK	2013
Building Information Modeling (BIM) Guidelines	USC	University of South. California	Academic institution	US	2012
CIC Building Information Modelling Standards	Hong Kong	Construction Industry Council	Government construction authority	China	2014
COBIM (Common BIM Requirements)	Senate	Senate Properties	Government construction authority	Norway	2013
Georgia Tech BIM Requirements & Guidelines for AEC	GT	Georgia Institute of Technology	Academic institution	US	2011
LACCD BIM standards	LACCD	LA Community College District	Academic institution	US	2016
Massachusetts Institute of Technology BEP	MIT	MIT	Academic institution	US	2014
NATSPEC National BIM Guide	NATSPEC	NATSPEC	National Standards Agency	Australia	2011
Official Manual for BIM projects	COE	New York District, U.S Army Corp of Engineers	Government construction authority	US	2009
Singapore BIM Guide	Singapore	Building and Construction Authority	Government agency	Singapore	2013
State of Ohio BIM Protocol	Ohio	State of Ohio General Services Division	State Government	US	2009
Statsbygg BIM Manual	SBM	Statsbygg	Government construction authority	Finland	2012
US National BIM Standard	NBIMS	National Institute of Building Sciences -Buildsmart alliance	National Standards Agency	US	2012
VA BIM Guide	VA	Department of Veterans Affairs	Government construction authority	US	2010

Table 2: BEP's selected for review

For this component, it was studied the presence of the following subcomponents: BIM software used, Software versioning management, Hardware specification and Security and backups.

The Table 2 is a description of the BEP documents reviewed on this research ([9],[19]-[31]). The selection of these documents is from a wide diversity of institution types and countries. It is considered the latest draft/version available on October 2017.

As stated before, each of the 20 BEP documents appointed in Table 2 had a revision of the components and subcomponents described above with the Symbols described in Table 1. Table 3 presents the results.

The authors performed a statistical analysis from Table 3 to find out the most complete BEPs according to the defined

indicators. Thus, it is evident from Table 3 that out of the 30 defined subcomponents for this study, the most complete BEPs are the VA's with the presence of 83.3% of the subcomponents, followed by the Pennsylvania's and the Singapore's, both with 76.7% each one.

It is worth highlighting that empty cells on Table 3 do not mean that the document does not mention the component, but it means that the subcomponents proposed in the research are missing. Additionally, the last column (percentage of subcomponents found) might indicate that some BEP documents are better than others are; however, the design of each BEP considered a specific context for its creation and implementation.

Table 3 works as a reference model for the creation of new BEPs by taking information from the documents studied here. As stated before, a BEP helps to organize a project around

BIM Documents	Template provided (Y/N)	Descriptive/prescriptive	BIM Project Scope	Legally binding document (Y/N)	Roles & responsibilities	Collaboration/communication	Information exchange	Analysis plan and tools (Y/N)	BEP document update procedures (Y/N)	Deliverables/documentation	Modeling requirements	Model management	IT software & hardware	Percentage of subcomponents found
AEC	Y	D	◆■▲	N	◆	◆■	◆	N	N	■	◆■▲●		◆■▲	53,3%
AutoD	N	D	◆■▲	N		■▲	◆■	Y	N		◆■	▲	◆▲●	46,7%
CanBIM	N	D	▲●	N		◆	◆▲	N	N	■		◆■	◆■▲	36,7%
COE	N	P	●	Y	◆■		◆■▲	Y	Y	■	◆■	◆▲		36,7%
GT	Y	D	◆■	N	◆	■	■	Y	N	◆	■	◆■▲	◆	43,3%
Hong Kong	N	D	◆	Y	◆■	▲		N	Y	◆■▲	◆■●	◆■▲	◆■▲●	63,3%
Indiana	N	P		Y		◆	▲	Y	N	◆■		▲	◆	23,3%
LACCD	N	P		N	■	◆	■	N	N	■	■	◆■▲	◆	30,0%
MIT	Y	P	◆■▲●	N	◆	◆■	◆■▲	Y	N	◆■▲	●	◆■▲	◆▲	70,0%
NATSPEC	N	D	■	N	◆	▲	▲	N	N	■	◆■▲	◆■▲	◆●	43,3%
NBIMS	Y	D		N	■	▲	◆■	N	N		◆	▲	◆▲●	33,3%
Ohio	Y	P	◆▲	Y		▲	◆	Y	N	◆	◆	◆▲	◆	40,0%
Penn	Y	D	◆■▲●	N	■	◆■▲	◆■▲	N	Y	◆▲	◆●	◆■▲	◆■▲	76,7%
SBM	N	D		N	◆	▲	◆	Y	Y		■	◆■▲	◆■	36,7%
Senate	N	D	▲	N	◆■		◆■	Y	Y		■▲	◆▲	◆■	43,3%
Singapore	Y	P	◆■▲●	Y	◆■	■▲	◆■	N	Y	◆■▲	◆■	◆■▲	◆●	76,7%
UF	Y	P	◆▲●	N	◆■	◆■	◆	N	N	▲	◆▲	◆■▲	◆■	53,3%
UK	Y	D	◆■	N	◆	▲	◆■	N	Y	◆	◆▲	◆■▲	◆■●	56,7%
USC	Y	P	◆■●	Y		■▲	◆■▲	Y	N	◆▲	◆■▲	◆■	◆■	66,7%
VA	Y	D	◆■▲●	N	◆■	◆■▲	◆■▲	N	Y	◆■	◆■▲●	◆▲	◆■●	83,3%

Table 3: Granularity for each BIM execution plan

the use of BIM. It can address many types of problems that companies may be experimenting in the implementation of BIM. The next section presents some of the main problems Colombian AEC organizations are having that a BEP can address.

4. IN-DEPTH INTERVIEWS FROM PRINCIPAL BIM ACTORS IN THE COLOMBIAN AEC INDUSTRY

Colombia is starting to use BIM on their projects but with a slow pace. This is shown in [7], and it demonstrates how the major portion (44%) of the surveyed industry, stated that they became involved with BIM within the past two years, while other major part with 34% in the last year, 15% in the past 3 to 5 years and only 6% for more than 5 years. This outlines in evidence the immaturity of the BIM use in the AEC Colombian industry.

The main BIM uses that the industry is implementing are 3D coordination, design authoring, quantity takeoff and cost estimations, production of 2D drawings, existing conditions modeling and design reviews, among others. One of the interesting results is that the industry is not massively using BIM models for maintenance and operation, prefabrication and energy analysis, which demonstrates the state of immaturity that Colombia is in BIM use.

To be able to contrast the benefits of the implementation of the BEP in a BIM based project with the local industry problems, five in-depth interviews were conducted to BIM Managers from some of the main construction companies in the country.

The surveys showed interesting results. First, there are some basic requirements in terms of individual and interpersonal skills for the people involved in BIM processes. Thus, most respondents agreed that one of the most important and difficult barriers is to change people's mindsets.

The industry is reluctant to change, because traditional ways of working undertaken for several years may be less cumbersome and stressful to implement. Additionally, it was clear that the way each surveyed company has addressed the BIM implementation is different from each other, and all of them stated that there has not been an organized way to approach a large-scale implementation by the industry.

From the surveyed professionals, two stated that there is no support from the government; however, if the government created standards, it would help companies to take valuable information for them to develop their own internal standards, which would homogenize the use of BIM. A good example of one of those standards, as stated by one of the respondents, could be the development of a standard BEP from the government for all the public bidding projects that intend to use BIM.

Moreover, BIM often requires rethinking and redesigning business processes. There were identified many troubles in the managerial processes associated to a BIM implementation in Colombia. This was clear in the interviews because most respondents stated that there was a lot of rework since they

are getting their subcontractors' designs in 2D-CAD and they must model those designs in the BIM software.

One respondent argued that this is due to the low involvement on BIM implementation of the different discipline's designers in the industry. In addition, the lack of modeling standards or guidelines is another obstacle, according to one respondent.

As for modeling requirements, an agreed way and LoD (Level of Development/Detail) must exist for model creation in each of the project stages, so the different disciplines can achieve their BIM objectives. For one of the respondents, whom is dedicated to carry out sustainability consultancy to projects this is a relevant issue.

For their company is very important that models are created in certain ways so they can run the different analysis on the software the company implements with the goal of performing the sustainability consultancy. A probable solution could be to agree a model creation process and manipulation from the beginning of the project through the development of a BEP.

In relation to the implementation of Integrated Project Delivery (IPD) practices, periodic coordination meetings represent a concern because BIM Managers are not sure how to manage and facilitate multi-discipline coordination meetings. According to one respondent, these meetings extended to the point where they became a waste of time for some designers.

Probably, this might happen because the entire design team was involved at the same time, without having to gather the whole team at the same time. A solution to the 3D coordination procedure, meeting frequencies, durations, and communication and information exchange procedures could be to agreeing from the beginning when and how these reunions and procedures will take place with each one of the stakeholders and record the commitments in the BEP.

Another very important point is the involvement of the construction site team on the BIM implementation. The implementation cycle will never close if project's construction do not implement BIM properly. This issue was a concurrent problem for some of the respondents.

One of the professionals stated that they send the BIM models to the construction team, but they were not using them for any purpose. The respondent said that they were confident that just by sending the BIM models, the construction team would use them for control purposes on the construction site and this was not happening, wasting or missing some of the main benefits that BIM implies.

By involving the construction team from early stages of the project during the development of a BEP, the construction industry could achieve that every stakeholder involved in the project understands the uses that BIM will have at every stage of the project's lifecycle.

Finally, BIM is very much about the ecosystem of integrated technologies [32] Therefore, the IT (Information Technology) was included in the survey and was found to be a great barrier in the implementation according to the results. The main reasons are the high cost of software licenses and the required hardware to run them, which needs to be regularly

updated and it needs to be able to manage a vast amount of information, which makes it very costly too.

Additionally, all parties involved in the BIM use can also clarify the software version (and its management) to ensure interoperability along the project development. Moreover, another concurrent issue identified was the exchange of information in the BEPs documents' study. Respondents indicated in this regard that the storage of information and the exchange procedures are difficult task to handle in their projects.

5. A PROPOSAL FOR A BIM EXECUTION PLAN TEMPLATE

As mentioned before, the Table 3 shown in this document, works as a model for the creation of a new BEP depending on the interests and objectives of the companies in each project during the development of their new BEP document. For this paper, the authors created a proposal for a BEP template using this model according to some criteria explained below.

The main objective was to create the most robust template that the model can conceive by implementing all the subcomponents analyzed on this document and to help the Colombian AEC industry in their troubles with the BIM implementation. It is important to mention that the BEP must suit the unique characteristics of the project so it may not be necessary to include all the subcomponents proposed on this paper.

To accomplish that objective, the authors reviewed each of the components guided by which BEPs had the greatest number of subcomponents examining the Table 3. For example, the BIM Project Scope component review indicated that all the proposed subcomponents were only in barely four documents.

Out of those four documents, the most complete one as a reference, as the Percentage of Subcomponents Found column in Table 3 shows, is the Veterans Affairs' BEP. Using this criteria, the VA's BEP document supplied the information to create the BIM Project Scope component on the template.

Following the same procedure of the BIM Project Scope component creation, each one of the components and subcomponents described earlier for this document had a revision and adaptation. If there were more than one BEP with the same number of subcomponents, the most complete document between them according to the Percentage of Subcomponents Found column supplied the information. It is important to mention that when reviewing a subcomponent and only one document contained it, the document in question supplied the information.

Following these criteria, the information for all the components on the proposed template were mainly drawn from the VA's, the Pennsylvania State University's and the Singapore's BEPs, apart from the Analysis Plan component that was drawn out from the Autodesk BIM Deployment Plan. There is a presentation of the tables on the template with some slight changes to have a more organized and clearer BEP.

The document of the proposed template can be found in the link (http://bit.ly/BEP_Template_Ingeco) along with an excel

support file with all the tables consigned in the document so they can be modified to suit each project needs.

The authors proposed the subcomponents order of presentation in the template and is open to discussion. There is no correct way to arrange the information in the BEP template and this is a topic worth discussion between the stakeholders in the early stages of the project.

It is worth mentioning that the main problems found during interviews from the Colombian AEC industry actors mentioned before, are mitigable by approaching to them in the proper way, for instance, through the preparation of an early and concise document that covers all possible scenarios.

This was one of the main objectives for creating the template. Finally, the authors expect that the template work as a reference for industry actors to develop their own BEP, either by reviewing the content of the template or by using the model inspecting the documents mentioned in Table 3.

6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Once the 20 BEP documents were reviewed, the problems and limitations that the Colombian AEC industry experience concerning the BIM implementation in their projects was understood, and the creation of a template for a BEP was carried out, a final analysis could be performed and some conclusions are presented below:

- The fact of having a low percentage in the calculated results (Percentage of Subcomponents Found column) does not indicate that a BEP is deficient; on the contrary, it means that it takes into account the context and focuses on a solution to a very specific problem that the Institution was facing.
- The most complete BEP documents turn out to be the best reference for shaping a BEP structure for a new project.
- A successful BEP implementation converges all the involved parties' objectives in to one, concerning the way BIM actors' processes and technologies will be interacting with each other during the project, so problems can be reduced in the implementation and communication for all the stakeholders is enhanced.
- BIM adoption in Colombia is growing year after year. For this reason, it is urgent and necessary to organize the Colombian AEC industry regarding the BIM use. Thus, involvement of the government is crucial to support the implementation, through the creation of standards that are transversal to all the parties in the business is imperative.
- In most large and medium Colombian companies, the use of BIM is gradually beginning, yet, there is a very low implementation of contractual documents like the BEP, which helps the implementation to be more organized in an industry that is mostly implementing BIM in an empirical manner.
- Through the development of a BEP, managers, designers, contractors and subcontractors will understand more clearly

their role and responsibilities, regarding the BIM implementation in the project.

- The implementation and use of BIM depends largely on the organizational culture; therefore, the BEP must reflect the working procedures that every organization has. The study conducted on this investigation can help companies to develop their own BEP by reviewing which components and subcomponents they need to include to their BEP.
- Through a large-scale use of a standard BEP from the Colombian AEC industry, the BIM implementation will keep increasing and there will be an improvement in the collaborative work. The BEP template proposed in this document can help to set the cornerstone that helps that large-scale implementation of this tool in the industry.

It is important to outline the necessity of the implementation of this kind of documents in Colombian companies, accompanied by academia, with the interest of collaboratively achieve the most suitable solution.

Additionally, it is crucial to thoroughly research on the BEP's composition and granularity in pursuance of understanding not only the presence of some subcomponents but the complexity, the quality, impact in the project and relationships among subcomponents.

Similarly, the need for further research of BIM Implementation Plan (BIP) to complement the investigation performed on this paper exists.

The BIP is the general plan that a company uses to implement BIM inside an organization. The BIP outlines the answer to the question of "how a company is using BIM?" as a BEP outlines the answer to "how a project is using BIM?"

It is important to highlight the need of the elaboration of National BIM standards in Colombia from the union of government, industry and academia to achieve a better BIM implementation in the country.

The revision of the implementation methodologies and techniques employed on other countries and the development of more researches on this topic can contribute to the achievement of a better implementation.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank all the AEC professionals who helped accomplish this research with valuable information. The authors would also like to acknowledge the support and help provided by the Research Group of Engineering and Construction Management (INGECO) at Universidad de los Andes in the preparation of this paper.

8. REFERENCES

- [1] National Building Specification (NBS), "What is BIM?," 2017. www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim. [Accessed: 01-Jun-2017].
- [2] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook A guide to Building Information Modeling*, Wiley, 2011.
- [3] O. Hamdi and F. Leite, "Conflicting Side of Building Information Modeling Implementation in the Construction Industry," *J. Leg. Aff. Disput. Resolut. Eng. Constr.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000137.
- [4] A. A. Aibinu and S. Venkatesh, "Status of BIM Adoption and the BIM Experience of Cost Consultants in Australia," *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, vol. 140, no. 3, pp. 1–10, 2014, doi: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000193.
- [5] K. Ortega Burgos and C. F. Rueda Gallardo, "Evolución del impacto comercial de los proyectos de edificaciones: un indicador líder," Bogotá D.C., 2017.
- [6] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Indicadores económicos alrededor de la construcción - IEAC," Bogotá D.C., 2017.
- [7] J. M. Gómez-Sánchez, J. S. Rojas-Quintero, and A. A. Aibinu, "The Status of BIM Adoption and Implementation Experiences of Construction Companies in Colombia," *VII Elagac*, no. November, pp. 601–611, 2016.
- [8] O. A. Olatunji, "Constructing Dispute Scenarios in Building Information Modeling," *J. Leg. Aff. Disput. Resolut. Eng. Constr.*, vol. 2, no. August, pp. 128–135, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)LA.
- [9] Building and Construction Authority, "Singapore BIM Guide - V2.0," Cornet, pp. 1–70, 2013.
- [10] H.-F. Hsieh and S. E. Shannon, "Three Approaches to Qualitative Content Analysis," *Nord. J. Digit. Lit.*, vol. 2015, no. 1, pp. 29–42, 2015, doi: 10.1177/1049732305276687.
- [11] R. Sacks, U. Gurevich, and P. Shrestha, "A review of building information modeling protocols, guides and standards for large construction clients," *J. Inf. Technol. Constr. (ITcon)*, vol. 21, no. October, pp. 479–503, 2016.
- [12] M. Fischer, H. W. Ashcraft, D. Reed, and A. Khanzode, *Integrating Project Delivery*. John Wiley & Sons, Inc, 2017, doi: 10.1002/9781119179009.
- [13] B. Gercek, O. B. Tokdemir, M. E. Ilal, and H. M. Gunaydin, "BIM Execution Process of Construction Companies for Building Projects," *Resilient Struct. Sustain. Constr.*, pp. 1–6, 2017, doi: 10.14455/ISEC.res.2017.5.
- [14] J. Messner et al., "BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.1," *Build. alliance*, pp. 1–135, 2011, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [15] Y.-C. Lin, Y.-P. Chen, W.-T. Huang, and C.-C. Hong, "Development of BIM Execution Plan for BIM Model Management during the Pre-Operation Phase: A Case Study," *Buildings*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2016, doi: 10.3390/buildings6010008.
- [16] M. Kassem, B. Succar, and N. Dawood, "Building information modeling: analyzing noteworthy publications of eight countries using a knowledge content taxonomy," *Build. Inf. Model. Am. Soc. Civ. Eng.*, pp. 329–371, 2015, doi: 10.1061/9780784413982.
- [17] E. Alreshidi, M. Mourshed, and Y. Rezgui, "Factors for effective BIM governance," *J. Build. Eng.*, vol. 10, no. July 2016, pp. 89–101, 2017, doi: 10.1016/j.jobe.2017.02.006.
- [18] M. H. Song, M. Fischer, and P. Theis, "Field Study on the Connection between BIM and Daily Work Orders," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 143, no. 5, pp. 1–4, 2015, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001267.
- [19] Massachusetts Institute of Technology, "MIT BIM Execution Plan," 2014.
- [20] Georgia Institute of Technology, "Georgia Tech BIM Requirements & Guidelines for Architects, Engineers and Contractors," no. September, pp. 0–38, 2011.
- [21] Statsbygg, "Statsbygg BIM Manual Version 1.2.1," *Sbm*, vol. 1, pp. 1–98, 2013.
- [22] Indiana University, "BIM guidelines & standards for Architects, Engineers, and

Contractors,” 2015.

[23] BuildLACCD, “LACCD Building Information Modeling Standards,” p. 33, 2016.

[24] British Standard Institution (BSI), “PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling,” 2013.

[25] NATSPEC, “NATSPEC National BIM Guide,” no. September, p. 27, 2011.

[26] National Institute of Building Sciences, “National BIM Guide for Owners,” 2017.

[27] Ohio State Architect’s Office, “State of Ohio, Building Information Modeling (BIM) Protocol,” p. 25, 2010.

[28] Hong Kong CIC, “CIC Building Information Modelling Standards,” pp. 0–103, 2014.

[29] Finnmap Consulting Oy et al., “COBIM v 1.0,” pp. 1–22, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-12691-8.

[30] Autodesk, “Autodesk BIM Deployment Plan: A practical framework for implementing BIM,” p. 42, 2010.

[31] University of Florida, “BIM Project Execution Plan Template for Architects, Engineers and Contractors,” pp. 1–32, 2017.

[32] R. Sacks and E. Pikas, “Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. I: Industry Requirements, State of the Art, and Gap Analysis,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 139, no. 11, p. 4013016, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000759.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Construction labor-productivity assessment using six-sigma tools: a case of study

Evaluación de la productividad de la mano de obra en construcción usando herramientas six-sigma: un caso de estudio

HÉCTOR HERNÁNDEZ

Magíster en Construcción, Escuela de Obras Civiles y Construcción. Ingeniero Constructor, Escuela de Obras Civiles y Construcción. Universidad Central de Chile. hhernandezl@ucentral.cl

GERALD OLIVERES

Ingeniero Constructor, Escuela de Obras Civiles y Construcción. Universidad Central de Chile. gerald.olivares@alumnos.ucentral.cl

- ◊ The concreting crew productivity in the concreting of beams and slabs of a residential building was investigated.
- ◊ 44 observations grouped in 11 samples were evaluated using Six-Sigma tools.
- ◊ The average productivity was 1.47 m³/mh and the work pace was 662.6 m² per week.
- ◊ The observed productivities responded to the natural variability of the process.
- ◊ A requirement higher than 3 σ level is somewhat difficult to fulfill in the construction sector.

In the construction sector labor-productivity growth just 1% on average the last two decades, which is very low compared to the 2,8% for the global economy or the 3,6% for the manufacturing sector. This shows that every year significant amounts of money and resources, both human and material, are lost due to inefficient processes in our industry. This issue gets worse due to the majority of construction companies do not have formal measuring systems a site level, what is necessary for the determination of productivity indicators. So the lack of measurement is the main problem involved in productivity improvement. In this scenario, a site labor-productivity case study is analyzed with the purpose of showing some productivity data and disclose some issues that occur when an incipient labor-productivity measurement processing based on Six-Sigma tools is implemented. The research is based on the cycle of beam and slab concreting work at three levels of a residential building superstructure. The measurements were performed for approximately four weeks, where 44 pours of pumped concrete were measured. The tools of the six-sigma approach provided a statistical structure that allowed to evaluate the concreting crew productivity in the case study. The results showed a work pace of 662.6 m² of concrete floor per week on average and, an averaged labor-productivity of 1.47 m³/mh with changes that responded to the natural process variability. Moreover, the process capability showed that concreting crew productivity variation did not meet the specification established for a typical 3 σ level, evidencing that a requirement above of 3 σ level is something difficult to fulfill in the construction sector since craft processes are in essence difficult to repeat with accuracy in a labor-intensive context.

Construction; Concreting; Labor-productivity; Six-Sigma

- ◊ Se investigó la productividad de la mano de obra en el hormigonado de vigas y losas de un edificio residencial.
- ◊ 44 observaciones agrupadas en 11 muestras fueron evaluadas a usando herramientas Six-Sigma.
- ◊ La productividad media resultó 1,47 m³/HH y el ritmo de trabajo fue de 662,6 m² por semana.
- ◊ Las productividades observadas respondieron a la variabilidad natural del proceso.
- ◊ Un requerimiento superior a 3 σ es difícil de cumplir en el sector de la construcción.

En el sector de la construcción, la productividad laboral creció sólo un 1% en promedio en las últimas dos décadas, lo que es muy bajo en comparación con el 2,8% de la economía mundial o el 3,6% del sector manufacturero. Esto demuestra que cada año se pierden importantes cantidades de dinero y recursos, tanto humanos como materiales, debido a procesos ineficientes en nuestra industria. Este problema se agrava debido a que la mayoría de las empresas constructoras no cuentan con sistemas formales de medición a nivel de obra, lo que es necesario para la determinación de los indicadores de productividad. Por lo tanto, la falta de medición es el principal problema implicado en la mejora de la productividad. En este escenario, un caso de estudio de productividad laboral en obra es analizado con el propósito de mostrar algunos datos de productividad y, revelar algunos problemas que ocurren cuando se implementa un proceso de medición de productividad laboral incipiente basado en herramientas Six-Sigma. La investigación se centró en el ciclo de hormigonado de vigas y losas en tres niveles de la superestructura de un edificio residencial. Las mediciones se realizaron durante aproximadamente cuatro semanas, donde se midieron 44 vertidos de hormigón bombeado. Las herramientas del enfoque six-sigma proporcionaron una estructura estadística que permitió evaluar la productividad del equipo de hormigonado en el caso de estudio. Los resultados mostraron un ritmo de trabajo de 662,6 m² de forjados de hormigón por semana en promedio y, una productividad laboral promedio de 1,47 m³/HH con cambios que respondieron a la variabilidad natural del proceso. Además, la capacidad del proceso mostró que la variación de la productividad del equipo de hormigonado no cumplía con la especificación establecida para un nivel típico de 3 σ , evidenciando que un requerimiento superior a 3 σ es algo difícil de cumplir en el sector de la construcción ya que los procesos artesanales son, en esencia, difíciles de repetir con precisión en contextos de uso de mano de obra intensivo.

Construcción; Hormigonado; Productividad de la Mano de Obra; Six-Sigma

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el crecimiento de la productividad laboral en el sector de la construcción promedió solo 1% anual en las últimas dos décadas. Indicador muy bajo en comparación con el 2,8% para la economía global o para el 3,4% del sector manufacturero [1].

Esto evidencia que cada año se pierden importantes sumas de dinero y recursos, tanto humanos como materiales, debido a los procesos ineficientes en nuestra Industria. Esto abre desafíos que deben ser asumidos por la industria de la construcción desde que no ha sido capaz de terminar los grandes proyectos en el tiempo, dentro de lo presupuestado o conforme a las especificaciones [2].

Para responder a este desafío es menester implementar adecuadamente aquellas buenas prácticas que han permitido al sector manufacturero aumentar en competitividad. Una de estas buenas prácticas es la medición y el control de sus procesos productivos a partir de los sistemas de mejora continuo de los procesos.

La medición y determinación de indicadores que permitan evidenciar cambios favorables en los procesos productivos son la regla en el sector manufacturero. Por tanto, algunas empresas de la industria de la construcción han optado por monitorizar el desempeño de sus procesos internos y externos con el ánimo de mejorar su competitividad a partir del aprendizaje del sector manufacturero, examinado la eficacia y la aplicabilidad de los instrumentos de medición y seguimiento que han derivado de la filosofía Six-sigma [3] [4].

Dado que no se puede mejorar aquello que no se puede medir, la medición de las variables que afectan la productividad debe ser la norma o premisa en los sistemas de mejora de los procesos. Haciendo necesarios la obtención de datos *in situ* sobre la producción y los recursos consumidos por los procesos constructivos (materiales, humanos, maquinarias, otros) que permitan evaluar los cambios en productividad y que sirvan de referencia para la industria de la construcción [5].

Los proyectos de construcción difieren de muchas maneras (diseño, ubicación, tamaño, etc.) y son muchos los factores que afectan la productividad del trabajo. Por lo tanto, resulta evidente que la productividad de la mano de obra en la industria de la construcción no es una tarea simple de mensurar, lo que es agravado debido a que la mayoría de las empresas constructoras no presentan procedimientos formales que permitan la medición de las variables que la afectan [6].

Así, la carencia de sistemas de medición formal es uno de los problemas más importantes implicado en la mejora de la productividad [5]. En este contexto, se muestra ventajoso estudiar la productividad de la mano de obra en los proyectos de construcción, mostrando datos de producción y productividad laboral, además de revelar algunos problemas a nivel de sitio que ocurren cuando se implementan procesos incipientes en la medición del trabajo.

En la industria de la construcción es conocido que el hormigonado es una de las partidas críticas en la materialización de la mayoría de los proyectos constructivos, pues los elementos estructurales de hormigón (cimientos, vigas, pilares, losas, muros, otros) son ítems importantes del presupuesto y de los programas de obra [7] [8].

Así, desde que resulta útil estudiar la productividad de la mano de obra en las partidas de hormigonado, el presente trabajo estudia el ciclo de hormigonado de vigas y losas en tres niveles de la superestructura de un edificio residencial en Santiago de Chile.

Lo anterior a partir del análisis de las mediciones de producción, de ritmo de trabajo y de productividad del equipo de hormigoneros; teniendo presente la clasificación del trabajo productivo, contributivo esencial e ineficaz [9].

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y VARIABLES DE ESTUDIO

Se buscó un edificio diseñado en hormigón armado que estuviera en etapa de construcción de supraestructura (obra gruesa), que estuviera sujeto a restricciones de operación en áreas urbanas, que su administración permitiera el acceso de una persona para tomar mediciones en la partida de hormigonado de vigas y losas que definirán el avance por piso y cuyo avance constructivo evitara sesgos por falta de experiencia en el equipo de trabajo.

De este modo, se seleccionó un edificio residencial de 12 plantas sobre rasante y una subterránea, con una superficie promedio de 852m² por planta, ubicado dentro del área metropolitana de Santiago de Chile.

Las mediciones se realizaron durante un periodo aproximado de 4 semanas, abarcando los pisos 6° al 8°. de la supraestructura de la edificación. El trabajo de medición debió ser coordinado con el equipo gestor del proyecto conforme a la programación del hormigonado de losas. Dividiendo la producción, en general, en 4 áreas por planta.

Esto se aprecia en la Fig. 1., donde cada color corresponde a un día programado de trabajo, es decir, a un ciclo de hormigonado (lote de producción) de losas y vigas del edificio. Los cortes corresponden a una aproximación y no reflejan con exactitud las juntas de hormigonado realizadas en obra.

Conforme a esto, se puede establecer una muestra de 11 ciclos de hormigonado (lotes de producción) para las losas y vigas entre los pisos 6° al 8°. Cada lote de producción de hormigonado incluye 4 observaciones, que correspondieron al vaciado de los camiones de hormigón en los frentes de trabajo (ver tabla 1). Esto derivó en la medición de 44 vertidos de hormigón bombeado durante el periodo de estudio, donde las mediciones cubrieron desde el inicio de la descarga del primer camión mezclador hasta la finalización de la unidad de producción previstas para la jornada de trabajo (lote de hormigón).



Figura. 1. Distribución del hormigonado de las losas y vigas para el piso 6.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 MEDICIÓN DEL TRABAJO Y PRODUCTIVIDAD

El trabajo se puede clasificar y distribuir conforme a las mediciones que se hagan de él en tres claros grupos: a) trabajo productivo o efectivo, b) trabajo contributorio esencial y c) trabajo ineficiente o no productivo [5][9].

El trabajo productivo aporta de manera directa a la producción, es decir, es aquel que refleja la producción (por ejemplo, verter hormigón). El trabajo contributorio no aporta directamente a la producción, pero es esencial para que exista producción (por ejemplo, recibir instrucciones). El trabajo ineficiente corresponde a aquel que no aporta valor o es innecesario, es decir, incluye no hacer nada o hacer algo que no sea importante para terminar el producto final [4].

La productividad puede ser definida como la maximización de la producción mientras se optimiza la utilización de los recursos, por tanto, suele ser representada por la Ecuación 1 [10]:

$$Productividad = \frac{Cantidad\ Producida}{Recursos\ empleados} \quad (1)$$

Donde la cantidad producida corresponde a la producción de obra, la que puede ser medida en unidades de físicas (m^2 , m^3 , m, litros, docenas, etc.) o unidades monetarias (euros, dólares, etc.), al igual que los recursos empleados, los que corresponden a los factores productivos de a) mano de obra, b) materiales y, c) equipamiento o maquinaria [6].

Por tanto, la productividad puede presentar distintas unidades, o bien, ser adimensional si las unidades de medida para la producción y los recursos empleados son iguales.

Por otro lado, considerando los diferentes tipos de recursos empleados en los procesos constructivos, es posible hablar de

las siguientes productividades: a) productividad de los materiales, b) productividad de la mano de obra y, c) productividad del equipamiento o maquinaria.

Siendo la productividad de la mano de obra un factor clave, pues corresponde al recurso productivo que en general fija los ritmos de trabajo en la construcción y es el recurso del cual dependen en gran medida la productividad de los otros insumos productivos (materiales y equipamiento o maquinaria) [10]. Para el contexto de esta investigación, la productividad del equipo de hormigonado será medida como la relación entre la producción del hormigón en m^3 y el recurso empleado en horas hombre (HH).

3.2 VARIABILIDAD ESPERADA EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

La mayor utilización de recursos (mano de obra, materiales y equipamiento o maquinaria) está vinculado al aumento de los costos de construcción y, por tanto, a la falta de productividad dado que la producción esperada es fija (el proyecto).

Existen numerosos métodos de estimación que permiten medir la variabilidad en los costes de un proyecto. Sin embargo, estas estimaciones suelen tratarse como un valor determinístico basado en la experiencia y con frecuencia suelen calcularse como un porcentaje adicional sobre los presupuestos. Siendo una práctica el añadir un 10% de contingencia al costo estimado del proyecto, aunque sea algo difícil de justificar por el estimador [11].

Por otro lado, un estudio ha mostrado que la razón entre los costes finales del proyecto y los costes estimados del proyecto es sustancialmente más alta de lo que ha sido estimado inicialmente, donde aproximadamente el 40% los proyectos estudiados experimentaron más de un 10% de variación [12].

3.3 HERRAMIENTAS UTILIZADAS DE LA FILOSOFÍA SIX-SIGMA

Six-Sigma es una metodología basada en estadísticas que proporciona un marco estructurado para organizar e implementar iniciativas estratégicas de mejora de procesos para lograr reducciones en la variabilidad de los procesos [4].

El marco estructurado pero flexible de Six-sigma proporciona un procedimiento sólido para la recopilación de información sobre la secuencia de los procesos de construcción, permitiendo mejoras en los procesos y en la calidad [3].

Las herramientas estadísticas de Six-Sigma permiten interpretar las mediciones de una variable de interés en un proceso como lo es la productividad conforme a parámetros definidos por: a) la variabilidad que experimentan las

mediciones acordes a una distribución normal (las observaciones deben someterse a un Test de Normalidad) y, b) por la variabilidad permitida para dichas mediciones (tolerancias y nivel sigma).

En el primer caso se definen los diagramas de control de mediciones para los promedios y los rangos de cada muestra o lote de producción (ver Ecuación 3 y Ecuación 4, para el caso de estudio) y, en el segundo caso, los límites de especificación que permiten determinar la capacidad del proceso y los parámetros estadísticas para el nivel sigma (Ver Ecuación 5).

Los límites de control en los diagramas de control de mediciones (UCL y LCL) se determinan conforme a las ecuaciones (2), (3), (4) y (5); y la capacidad del proceso se determina conforme a las ecuaciones (6), (7), (8), (9) y (10).

Ecuaciones diagrama de control de mediciones de promedios [13]:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (2)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (3)$$

Donde UCL es el límite de control superior para el promedio de las muestras, o bien, para los rangos de las muestras.

LCL es límite de control inferior para el promedio de las muestras, o bien, para los rangos de las muestras.

Estos límites permiten monitorizar la variabilidad del proceso por, sobre y bajo la tendencia central para los promedios y para los rangos de las muestras; donde $\bar{\bar{x}}$ es la tendencia central para los promedio y; \bar{R} corresponde al promedio de las medias de las muestras y es la tendencia central para los

Ecuaciones confección diagrama de control de rangos [13]:

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (4)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (5)$$

rangos y corresponde al promedio de los rangos de las muestras. A_2 , D_3 y D_4 corresponden a factores estadísticos que dependen del nivel de análisis sigma y del número de observaciones por muestra. Si alguna medición en los diagramas de control de mediciones, ya sea para promedios o rangos, sobrepasa los límites de control superior o inferior respectivos; entonces, esta medida (rango o promedio de la muestra) no responderá a la variabilidad natural del proceso y será necesario estudiar la causa de dicha variación.

Ecuaciones para determinar la capacidad del proceso [13]:

$$Cpk = \min(Cpu, Cpl) \quad (6) \quad Cpu = \frac{(USL - \mu)}{3\sigma} \quad (7) \quad Cpl = \frac{(\mu - LSL)}{3\sigma} \quad (8)$$

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} \quad (9) \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (10)$$

Donde Cpk es la razón de capacidad del proceso que permite establecer la habilidad de un proceso para cumplir o exceder el límite de especificación superior (USL) o el límite de especificación inferior (LSL). Correspondiendo al valor mínimo entre Cpu (capacidad del proceso por el lado superior) y Cpl (Capacidad del proceso por el lado inferior). Por otro lado, μ es la media del proceso y σ la desviación estándar del proceso, los que se estiman a partir de $\bar{\bar{x}}$, \bar{R} y el factor estadístico d_2 , que depende del nivel sigma y del número de observaciones por muestra, $\hat{\mu}$ y $\hat{\sigma}$ corresponden a las estimaciones de μ y σ respectivamente.

Cpk será el menor valor entre Cpu y Cpl debido a que será más crítico el lado de la distribución de las mediciones (por arriba o por abajo en conformidad a σ) cuando el límite de la especificación k respectivo (USL o LSL) esté más cercano a la media del proceso μ (observe las ecuaciones 7 y 8). Si Cpu y

Cpl son iguales, entonces, las mediciones se muestran centradas en la distribución y no existe un lado más crítico.

En este caso la capacidad:

$$Cpk = Cp = (USL - LSL) / 6\sigma \quad (11)$$

La razón de que sea usado 6σ es que la mayor parte de las mediciones del proceso (99,74%) caen dentro de ± 3 desviaciones estándar, lo cual da un total de 6 desviaciones en la distribución normal. Esto corresponde a un análisis 3σ y permite un nivel de defecto o incumplimiento de 0,26% o 2600 ppm (0,13% por lado). En el caso de un análisis 6σ la evaluación es más exigente y las mediciones debieran caer dentro de ± 6 desviaciones estándar, es decir, el nivel de defectos permitidos es de aproximadamente 3,4 ppm [13]. Este trabajo presenta un análisis de control 3σ para productividad.

Existen tres posibles rangos de valores que pueden tomar el indicador C_p : igual a 1, menor a 1 o mayor a 1. Un valor igual a 1 significa que la variabilidad del proceso se ajusta a las especificaciones, un valor menor a 1 significa que la variabilidad del proceso está fuera del rango de especificación y, un valor mayor a 1 significa que la variabilidad del proceso excede la capacidad mínima especificada [13].

En este último caso, para el rango entre $\pm 3\sigma$, se interpreta que el 99,74% de la producción caerá entre los límites de especificación. Es decir, menos del 0,26% (100% - 99,74%) de la producción no cumplirá con las especificaciones, en otras palabras, menos de 2600 ppm de incumplimiento.

Consecuentemente, C_{pk} (mínimo entre C_{pu} y C_{pl}) presenta una interpretación análoga, pero considerando la fracción defectuosa por lado, es decir, 0,13%. Por ejemplo, sea $C_{pk} = C_{pl} = 1,25$, implica que $C_{pl} \leq C_{pu}$ y que se está ocupando un 80% ($1,25^{-1}$) de la banda de tolerancia por el lado inferior de la distribución de mediciones, por lo cual, la proporción de incumplimiento definida para ese lado será menor a 0,13%.

Para el presente caso de estudio se considerará en los análisis la determinación de C_{pl} . Esto, basado en el hecho que mayores productividades serán preferidas y no conllevan inconvenientes más allá de la variabilidad que presenten por el lado superior.

4. MEDICIONES Y RESULTADOS

En la estimación de la productividad de la mano de obra, y conforme al apartado 2, las mediciones se iniciaron desde el inicio de la descarga del primer camión hormigonera hasta la finalización de la unidad de producción (afinado del hormigón), donde el principal recurso estudiado fue el equipo o cuadrilla de hormigonado.

Se lograron medir cuarenta y cuatro vertidos de hormigón bombeado (observaciones, ver Tabla 1) que promediaron 7,3m³ de hormigón por camión, con un tiempo medio de descarga de 13,7 minutos por camión.

Las mediciones se realizaron durante aproximadamente 4 semanas (3,86 semanas), lo que arrojó una producción media de 662,6 m² de losas de hormigón por semana y una producción media de 232,5 m² por muestra o lote de producción. En la medición del trabajo, el trabajo productivo en el equipo de hormigonado correspondió a la proporción del tiempo destinado al vertido del hormigón, al tiempo destinado al vibrado del hormigón y al tiempo destinado al nivelado de la losa.

El trabajo contributorio esencial correspondió a la proporción de tiempo destinado a dar o recibir instrucciones, estudiar especificaciones, movilizar y preparar materiales o equipamiento y, a la limpieza o preparación del frente de trabajo para iniciar una nueva vaciada.

El trabajo ineficiente correspondió a la proporción de tiempo de ocio inexplicable o no observable, al traslado de trabajadores con manos vacías, el rehacer trabajos, el fumar,

a la espera por instrucciones, a la espera de actividades previas y a la espera de los camiones, de materiales o de equipamiento necesarios. Los resultados para los 11 ciclos de trabajo observado fueron en promedio 57%, 18% y 25% para el trabajo productivo, contributorio y no productivo respectivamente. Los que presentaron una desviación estándar de 11%, 7% y 5% respectivamente.

La Fig. 2 muestra el Test de Normalidad de Anderson-Darling para las mediciones de las productividades del equipo de hormigonado. Desde que el valor p en el Test de Normalidad es igual a 0,3965 y es superior a 0,20; entonces, se puede concluir que los datos proceden de una distribución normal. Esta condición de entrada permitió analizar las productividades utilizando las herramientas de control de estadístico derivadas de la filosofía Six-sigma.

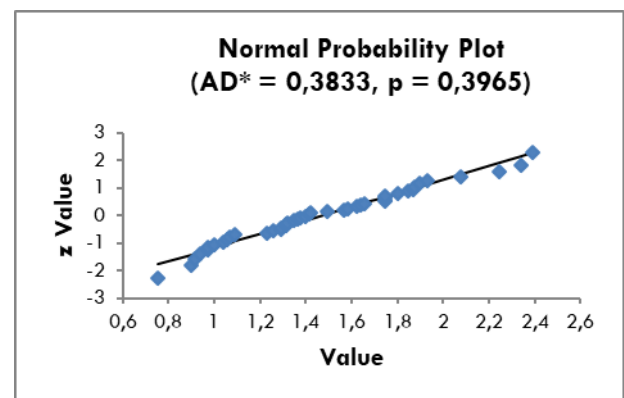


Figura 2. Resultado del Test de Normalidad de Anderson-Darling.

Lotes	Muestras por lote (m ³ /HH)			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1,00	1,87	1,80	2,39
2	2,24	1,75	1,66	2,08
3	1,85	1,62	1,74	1,37
4	1,32	1,75	1,90	1,75
5	0,97	1,23	1,93	0,75
6	1,58	1,29	1,26	1,42
7	1,57	1,87	1,37	2,34
8	1,29	0,94	0,92	1,06
9	1,64	1,32	1,49	1,40
10	1,09	1,04	1,07	0,90
11	1,35	1,32	0,97	1,42

Tabla 1. Muestras para cada lote de producción

Conforme a la metodología descrita en el apartado 2, las 11 muestras (lotes de producción que se listan en la Tabla 1), compuestas por 4 observaciones (vertidos de cada camión de hormigonado), presentaron una productividad media de 1,47m³/HH.

Este parámetro define la tendencia central en diagrama de control de mediciones de los promedios, a partir de él se evidencian los cambios que experimentan las medias de la productividades de los lotes de producción en torno a la tendencia central, la que se muestra como Avg=1,47 en la Fig. 3.

Por otro lado, la Fig. 4 muestra la variabilidad que experimentan las productividades del equipo de hormigonado conforme a las mediciones de los rangos en

cada muestra o lote de producción. En el diagrama de control de rangos (Fig. 4), la tendencia central se muestra como $Avg=0,62 \text{ m}^3/\text{HH}$.

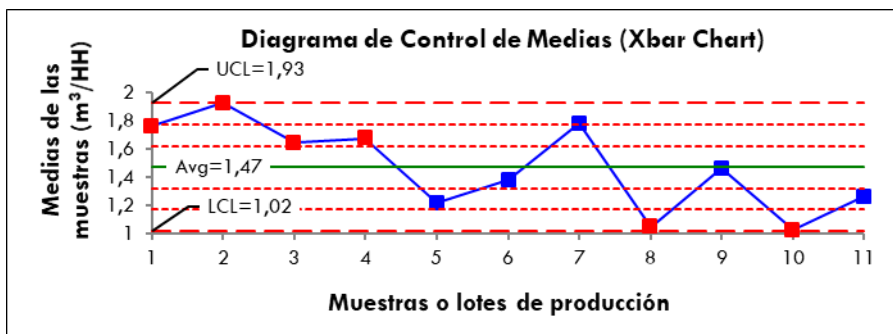


Figura 3: Cambios en los valores medios de la productividad del equipo de hormigonado.

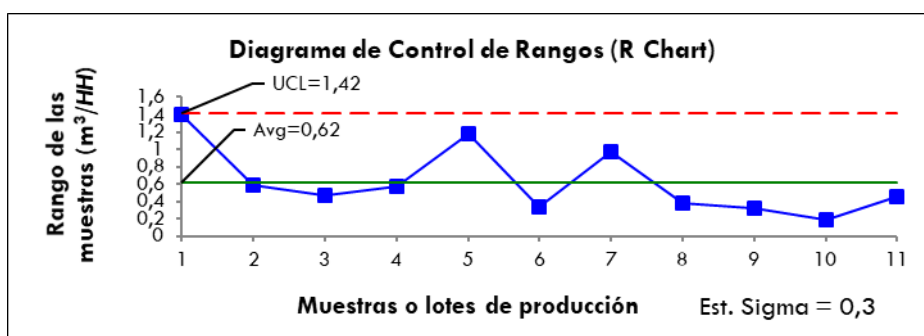


Figura 4: Cambios en la variabilidad de la productividad del equipo de hormigonado (rangos).

Los límites de control superior e inferior (ULC y LCL) en cada gráfica de control de mediciones (Fig. 3 y Fig. 4) se determinaron conforme a las ecuaciones (2) (3) (4) y (5),

donde los factores A_2 , D_3 y D_4 , para un nivel 3σ y cuatro observaciones por muestra, corresponden a 0,73; 0 y 2,28 respectivamente.

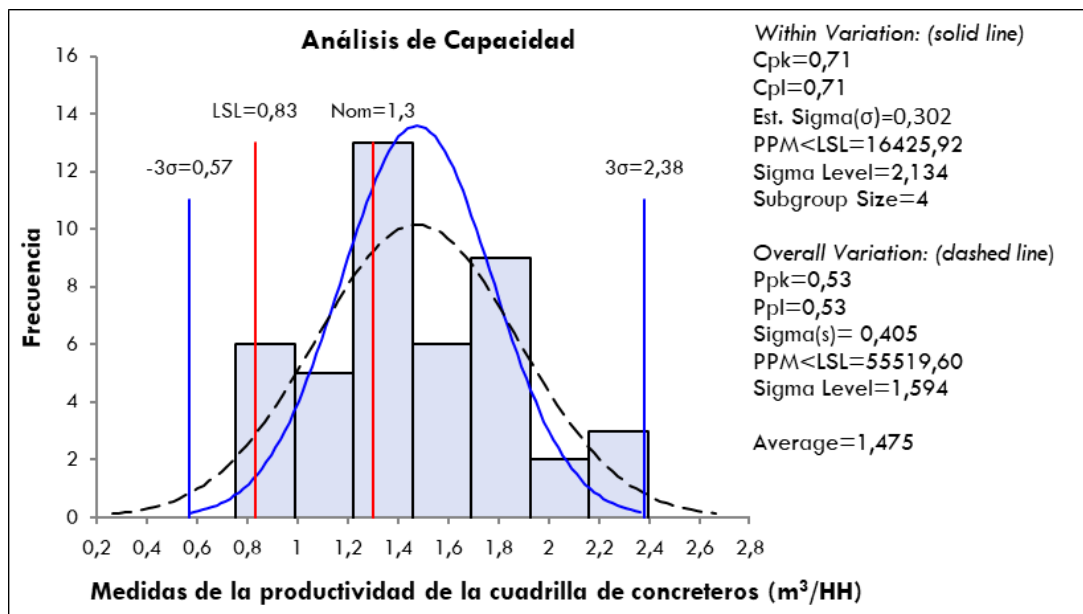


Figura 5: Análisis de la Capacidad del proceso para responder a la productividad esperada de la cuadrilla de hormigoneros en el proceso de hormigonado.

Para el cálculo de la capacidad del proceso se estimó la media y desviación del proceso conforme a las ecuaciones (9) y (10) donde \bar{x} es igual a $1,47 \text{ m}^3/\text{HH}$, \bar{R} es igual a $0,62 \text{ m}^3/\text{HH}$ y D_2 es, para un nivel 3σ y 4 observaciones por lote, igual a 2,059. Resultando una media estimada igual a $1,47 \text{ m}^3/\text{HH}$

y una desviación estándar estimada igual a $0,302 \text{ m}^3/\text{HH}$. Por otro lado, para calcular la capacidad del proceso C_{pk} fue necesario establecer una especificación. Esto no fue fácil de establecer debido a que la empresa constructora no realizaba mediciones de productividad que permitieran

definir parámetros basados en su experiencia. Para responder a este problema se tomó de referencia la variabilidad que presentan los proyectos de construcción en el apartado 3.2.

Así, si se asume que el 40% de todos los proyectos de construcción experimentan más del 10% de variabilidad, medida por la relación entre los costos finales del proyecto y los costos estimados del proyecto. Entonces, para una unidad de producción la productividad cambia en aproximadamente 10% ya que, conforme a la ecuación (1), la productividad global baja a $1/[1+0,1] = 0,909$. Además, si se asume que la variabilidad de los proyectos de construcción distribuye normal conforme al Teorema del Límite Central, entonces, LSL se podría especificar como 0,636 suponiendo LSL sobre $z=-1$ en la distribución normal estandarizada. Entonces, cuando $P(z < -0,25) = 40\%$ y $X_i = 0,909$ (caída productividad global) resulta la distribución igual a $N(1; 0,364)$.

Consecuentemente, si LSL es 0,636 cuando 1 representa la productividad esperada de la mano de obra en el hormigonado, que en el sector chileno ronda los 1,3 m³/HH [8] (inferior a 1,47 m³/HH que se obtuvo), LSL será igual a 0,83 m³/HH. En tal caso, aplicando la ecuación (8), Cpl resulta igual a 0,71 para un nivel de control 3σ (ver Fig. 5). Por otro lado, basándose en un procedimiento análogo, y para un nivel de control 2σ , el indicador Cpl aumenta a aproximadamente 1,06.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En las Fig.3 y Fig.4 se aprecia que la productividad de la mano de obra en el hormigonado de vigas y losas estuvo bajo control estadístico (todos los puntos se ubicaron entre los límites de control superior e inferior). En otras palabras, las productividades del equipo de hormigonado respondieron a la variabilidad natural del proceso constructivo. Cabe destacar que hubo razones claras que explicaron cuando la productividad del equipo de hormigonado fue mayor a lo esperado (véanse las primeras cuatro muestras en la Fig.3), o bien, cuándo la productividad fue menor a lo esperado (véanse las muestras 8 y 10 en la Fig.3). En la primera situación, existió una buena planificación del trabajo y el proveedor no falló en la entrega del hormigón (entregas conforme a programación) y; en la segunda situación, existió una proporción mayor de trabajo ineficiente o no productivo, donde la espera por los camiones de hormigón y la falta de planificación, que derivó en tiempos de espera debidos a la falta de las condiciones para producir, se vieron acentuadas.

Basado en la experiencia chilena, donde el ritmo de avance podría definirse como 2,5 plantas por mes para una superficie media de 1.000m² [8], la producción semanal debería ser del orden de 625m². Esto denota que la producción media en el caso de estudio, igual a 662,6 m² por semana, es mayor al esperado en la Industria Chilena.

Los niveles de actividad sectorial en Chile muestran para la obra gruesa que el 60% de las actividades generan valor; es decir, responden a trabajo productivo, que el 20% representan actividades de soporte y, que el 20% responde

a trabajo que no agrega valor o corresponde a detenciones autorizadas. Estos indicadores cambian a 54%, 18% y 28% respectivamente, cuando se trata de actividades a nivel global de los proyectos de edificación en altura [8]. Esto evidencia que la distribución del trabajo observado en el equipo de hormigonado se ajusta a parámetros esperados.

En torno a la productividad de la mano de obra, se aprecia que la productividad media del equipo de hormigonado (1,47 m³/HH) es mayor a la esperada en la industria chilena, la cual ronda los 1,3 m³/HH. Sin embargo, bajo los mejores contextos de productividad (muestras 2 y 7 en Fig.3), se evidencia la posibilidad de plantear metas de productividad mayores al proceso de hormigonado de losas y vigas, pues en el mejor de los casos esta se acercó a 2 m³/HH. Sumado a lo anterior, existen experiencias internacionales que han podido llegar a una productividad media de 2,2 m³/HH en el hormigonado de losas y vigas con hormigón bombeado [9].

La capacidad del proceso resultó igual a $Cpl = 0,71$ para un nivel de control 3σ (Fig. 5), apreciándose que las productividades de los equipos hormigoneros no cumplen con la banda de tolerancia especificada, sobrepasándola en aproximadamente un 41% por la parte inferior. Esto evidencia que la productividad de los mismos debe disminuir en variabilidad. Es decir, si la organización del proyecto persigue como meta el 99,74% de nivel cumplimiento (la mitad de 0,26% por el lado inferior), entonces, el proceso constructivo necesariamente debe mejorar.

Por otro lado, si el nivel de análisis fuera menos exigente (mayor proporción de fracción defectuosa permitida), para el caso igual a 2σ , se aprecia que la variabilidad de la productividad de los hormigoneros cumpliría con la especificación mínimamente (Cpk cercano a 1), ocupando aproximadamente el 95% de la banda de tolerancia. Esto plantea que sería más apropiado trabajar con un nivel de control estadístico 2σ , siendo conscientes de que los procesos productivos en la industria de la construcción presentan mayor variabilidad [14]. Esto es debido a la naturaleza artesanal de sus procesos que en esencia son difíciles de repetir con precisión [14]. Consecuentemente, si alcanzar un nivel de control 3σ es complejo, lo será aún más un nivel de control 6σ .

6. CONCLUSIONES

Las herramientas del enfoque Six-sigma proporcionaron una estructura estadística que permitió evaluar la productividad del equipo de hormigonado en el proyecto de estudio. Así, a partir de la interpretación de los diagramas de control de mediciones, se concluye que los cambios que experimentan las mediciones de la productividad de la cuadrilla de hormigoneros respondieron a la variabilidad natural del proceso constructivo.

Donde a las mediciones extremas (productividades cercanas a los límites de control) se les pudo asignar causas relativas a la planeación del trabajo o al cumplimiento del proveedor de hormigón. Si ambas situaciones fueron favorables, la productividad de la mano de obra superó la media de las mediciones, acercándose a los 2m³/HH en el mejor de los

casos. Si ambas situaciones fueron negativas, entonces, el trabajo ineficiente aumentó considerablemente y la productividad bajo a aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{HH}$ en el peor de los casos.

Por otro lado, en la medición de la capacidad del proceso, se pudo apreciar cómo la variabilidad en la productividad del equipo de hormigonado no se ajustó a la especificación establecida para un nivel de exigencia típico de 3σ . En este caso, se sobrepasó en aproximadamente 41% la banda de tolerancia. Sin embargo, cuando la exigencia de incumplimiento bajó a un nivel de control 2σ , la variabilidad del proceso se ajustó a la especificación mínimamente (C_{pk} cercano a 1), ocupando aproximadamente el 95% de la banda de tolerancia. Esto plantea que un nivel exigencia sobre 3σ , es algo difícil de conseguir cuando se evidencia la naturaleza artesanal de los procesos constructivos y el uso intensivo de mano de obra.

Para el caso de estudio fue difícil establecer un límite de especificación inferior para la productividad de los hormigoneros. Esto, debido a la carencia de propios indicadores de productividad de la mano de obra que pudiesen servir de benchmarking y, debido a la poca información disponible en la industria chilena. La productividad del equipo de hormigonado y el ritmo producción se mostraron por sobre el promedio para la industria chilena en edificación. Sin embargo, dadas las mejores mediciones obtenidas en productividad, sumado a los antecedentes internacionales que muestran rendimientos mayores para la misma actividad ($2,2 \text{ m}^3/\text{HH}$), se plantea como meta para la empresa mejorar su proceso constructivo. Finalmente, cabe destacar que el personal de la obra confundía el concepto de productividad – Ecuación (1) – con el de ritmo de trabajo o producción, sin tener claro que este último forma parte de la productividad, pero que no define cómo son utilizados los recursos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Institute, M. G. (2017). Reinventing Construction: A route to higher productivity. McKinsey & Company : McKinsey Global Institute .
- [2] McKinsey & Company. (2015). The construction productivity imperative. Retrieved from McKinsey & Company Capital Projects & Infrastructure: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-construction-productivity-imperative>
- [3] Stewart, R. A., & Spencer, C. A. (2006). Six-Sigma as a strategy for process improvement on construction projects: a case study. *Construction Management and Economics*, 24, 339-348.
- [4] Borse, G. U., & Attarde, P. M. (2016). Application of Six Sigma Technique for Commercial Construction - Project - A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 03 Issue 06, pag. 2323 - 2328.
- [5] Shinde, V. J., & Hedao, M. N. (2017). Productivity Improvement in Construction Industry. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, Vol.4 Issue 12.
- [6] Naoum, S. G. (2016). Factors influencing labor productivity on construction sites. A state-of-the-art literature. *Management, International Journal of Productivity and performance*, Vol. 65 Iss 3pp.
- [7] Takim, R., Akintoye, A. and Kelly, J. (2003) Performance measurement systems in construction, In: Greenwood, D. (Ed.) 19th Annual ARCOM conference, Vol. 1, ARCOM, University of Brighton, pp. 423-431.
- [8] Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT. (2013). Análisis de la Productividad en Obras de Edificación en Chile. Santiago, Chile: Cámara Chilena de la Construcción.
- [9] Chan, D. W., & Kumaraswamy, M. M. (1995). A study of the factors affecting construction durations in Hong Kong. *Construction Management and Economics*, 13:4, 319-333.
- [10] Serpell, A., "Administración de Operaciones de Construcción", ALFAOMEGA Grupo Editor, México, 2002.
- [11] Baccarini, D. (2004). Accuracy in estimating project cost construction contingency - a statistical analysis. *Proceedings of the Construction and Building Research Conference of RICS*, 7-8.
- [12] Ibbs, W. (2012). Construction Change: Likelihood, Severity, and Impact on Productivity. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, Vol. 4 Issue 3.
- [13] Reid, R., & Sanders, N. R. (2011). *Operations Management An Integrated Approach*. United States : John Wiley & Sons, Inc.
- [14] Ibáñez C., M. (2009). 4 Sigma, Capacidad de Procesos Artesanales: Estadística le dobla la mano a la práctica. *Revista BIT*, Vol. 29, 14-16.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

New approach of the actors in the building process in Peru between comparative analyses with Spanish model

Nueva visión de los agentes del proceso edificatorio en Perú a través de su análisis comparado con el modelo español

RAFAEL VICENTE LOZANO

Doctor y Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid . rafaelvicente.lozano@upm.es

SILVANA SIERRA

Arquitecta por la Universidad Ricardo Palma (Perú). Silvana-sierra@hotmail.com

YESENIA KIM GUZMÁN

Arquitecta por la Universidad Nacional Federico Villareal (Perú). kim.guzman.quintana@alumnos.upm.es

- ◊ Update of the agents involved in the building process in Peru.
- ◊ Comparative analyses of reference regulations between Peru and Spain.
- ◊ Knowledge of the building process as the first step to its update.

The building process in Peru contains its own instruments of regulation and management. It is a specific legislation that tries since its growing development, to protect the necessary quality of its buildings. It presents construction standards that govern the processes throughout the country since the stage of licensing, execution of work and conformity of the building, thus the municipalities are governed by the Law 29090 (and their amending) and the Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). But parallel to the development of the building process, we must seek an update of the management instruments and specific legislation. This is taken as reference the current Spanish situation in this respect, where the means to update their buildings with standards of quality, safety and sustainability, have been set. In Spain, there is a general law that governs the entire building process, the Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), together with technical regulations, the Código Técnico de la Edificación (CTE), regulate the entire Spanish building process. These laws and regulations in both countries fulfill a similar function, proposing the study of their similarities and differences in the adjudication of responsibilities to the interveners and in the management itself. To do this, a normative - comparative - qualitative analysis of both building processes (Spanish and Peruvian) has been carried out, through its normative application benchmarks, to find the differences, gaps and possible improvements in the processes and the actors that intervene in them, to achieve better control of the building process. In the conclusions the possible coincidences, deficiencies, and complements within the reciprocal relationship between the current regulations of application between both countries has been determined. This experience will set new contributions to management in both building processes and obtain a new vision in reference to Peru.

Building process; Urban enabling; Building management; Comparative analysis

- ◊ Actualización de los agentes intervinientes en el proceso edificatorio en Perú.
- ◊ Análisis comparado de Normativas de referencia entre Perú y España.
- ◊ El conocimiento del proceso edificatorio como primer paso para su actualización.

El proceso edificatorio en Perú contiene sus propios instrumentos de regulación y gestión. Es una legislación específica que intenta desde su creciente desarrollo, amparar la necesaria calidad de sus edificaciones. Presenta unas normas de construcción que rigen los procesos en todo el país desde la etapa de licencia, ejecución de obra y conformidad de la edificación, así los municipios están regidos bajo la Ley 29090 (y sus modificatorias) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Pero paralelo al desarrollo del proceso edificatorio, debemos buscar una actualización de sus instrumentos de gestión y legislación específica. Para ello, se toma como referencia la situación actual española, donde se han puesto los medios para actualizar sus edificaciones con estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad. En España existe una ley general que rige todo el proceso edificatorio, la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), que junto con su reglamento técnico, el Código Técnico de la Edificación (CTE), regulan la práctica totalidad del proceso edificatorio español. Para ello se ha realizado un análisis cualitativo - comparativo - normativo de ambos procesos edificatorios (español y peruano), a través de sus referentes normativos de aplicación, para encontrar las diferencias, vacíos y posibles mejoras en los procesos y en los actores que intervienen en los mismos, para lograr un mejor control de la edificación. Se determina en las conclusiones las posibles coincidencias, carencias y complementaciones dentro de la relación recíproca entre la normativa actual de aplicación entre ambos países. Dicha experiencia va a permitir nuevos aportes a la gestión en ambos procesos edificatorios y obtener una nueva visión en referencia a Perú.

Proceso edificatorio; Habilitación urbana; Gestión edificación; Análisis comparativo; Proceso constructivo

1. INTRODUCCIÓN

Según el Censo poblacional 2007 [1] existen 6.400.131 viviendas en Perú, de las cuales entre el 30% y 40% de las edificaciones son resultado de procesos constructivos formales, en tanto, las demás han sido autoconstruidas [2]. Debido a la inmigración del interior del país a la capital, familias optaron por invadir terrenos y empezar habitarlos [3], convirtiéndolos en construcciones insostenibles, densos y de baja calidad edificatoria.

Todo ello inicia un lento despegue del proceso edificatorio peruano, que junto diferentes planes nacionales y programas específicos como el Mivivienda, centrado en sectores medios, ha permitido un crecimiento significativo del sector construcción [4].

El boom inmobiliario en el Perú presenta su punto álgido en el año 2012 [5], lo que provoca las modificaciones en los instrumentos de regulación [6] y la propia actualización de las normas de construcción que rigen los procesos en todo el país, desde la etapa de licencia, ejecución de obra y conformidad de la edificación.

Perú dispone de su propia regulación y normas con aplicación a nivel nacional, permitiendo así una mejor ejecución de la edificación. La existente reglamentación se basa en dos pilares fundamentales: el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) de 2006 y La Ley 29090 de 2007 de regulación de habilitaciones urbanas y de edificaciones, convenientemente actualizada mediante diversos Decretos Supremos.

A pesar de ello, existe gran desconocimiento y/o desinterés de la Normativa por parte del propietario y sobre todo en los casos de autoconstrucción (el 80 % de las viviendas construidas en todo el país) donde no existe supervisión técnica de los agentes intervinientes en el proceso edificatorio. Es el propietario el que construye con la asistencia de un maestro de obra, pero no sin colaboración de un ingeniero civil ni arquitecto [7].

Por otro lado, aparece un importante desarrollo económico y social asociado a crecimiento y desequilibrio territorial, debido entre otros muchos factores a la multiplicación de áreas de crecimiento en los ejes de transporte y el desarrollo económico del territorio periurbano, que provoca que diferentes ciudades de América Latina (entre las que se encuentra por ejemplo Lima) estén experimentando una dinámica de fuerte crecimiento [8]. Este crecimiento provoca que todo el proceso edificatorio deba ir adaptándose a todos y cada una de las tipologías que se demandan en la actualidad, haciéndose compatible con lo existente.

Mientras en España, La Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) de 1999, regula el proceso de la edificación actualizando y completando la configuración legal de los agentes que intervienen en el mismo. Fija sus obligaciones para así establecer las responsabilidades y cubrir las garantías a los usuarios, en base a una definición de los requisitos básicos que deben satisfacer los edificios y que son recogidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE) de

2006 y sus diferentes actualizaciones.

La ley pretende dar respuesta a la demanda por parte de la sociedad a los requerimientos de una mayor calidad en los edificios [9] que tras el paso de la crisis en el sector el proceso edificatorio y sus métodos de trabajo no modifican su uso [10].

Estas Leyes, Reglamento y Código cumplen la misma función desde diferentes perspectivas, por lo que desde tal óptica se realiza un estudio comparativo en las diferentes agentes del proceso edificatorio, entre el modelo de Perú y el existente en España, con la intención de obtener conclusiones en los mismos ámbitos de actuación. Dichas conclusiones van a permitir seguir avanzando, gestionando y optimizando el modelo del propio sistema edificatorio en Perú.

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación, se ha obtenido en una primera fase inicial los complementos normativos que regulan los procesos edificatorios tanto en España como en Perú, actualizándose a la fecha de redacción de la propia investigación.

Para su posible comparación se ha realizado un estudio preliminar para la determinación de las diferentes normas dentro del propio sistema legislativo. Para ello, nos basamos en la pirámide keinesiana, mostrada en la Figura 1, para categorizar las diferentes clases de normas ubicándolas en una estructura gradual, piramidal o jerárquica en la que la validez de las normas inferiores reposa en las normas superiores [11] y se establecen dichas categorías tanto en España, como en Perú [12].

En el caso que nos ocupa, la regulación en Perú de los agentes intervinientes en el proceso edificatorio proviene de la Ley de Regulación de Habilitaciones Urbanas y de Edificaciones - Ley 29090 (Ley Ordinaria) y del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), aprobado mediante Decreto Supremo n° 011-2006.

En España la normativa de referencia proviene de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) - Ley 38/1999 (Ley Ordinaria) y del Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado mediante Real Decreto 314/2006. Ambas normativas con sus actualizaciones y modificaciones actualizadas.

Para efectuar una comparación basada en procedimientos legales absolutos, es necesario realizarla entre sistemas normativos de igual nivel. Para ello, se podría suponer una doble comparación horizontal independiente. Por un lado, entre la Ley 29090 y la LOE y por otro, entre el RNE y el CTE, a pesar de estar reglamentariamente un peldaño por encima el Código español, frente al Reglamento peruano, el problema estriba en los contenidos prácticos de cada una de las normas.

Cada una de ellas incorpora referencias sustanciales sobre los actores que intervienen en el proceso constructivo de ambos países.

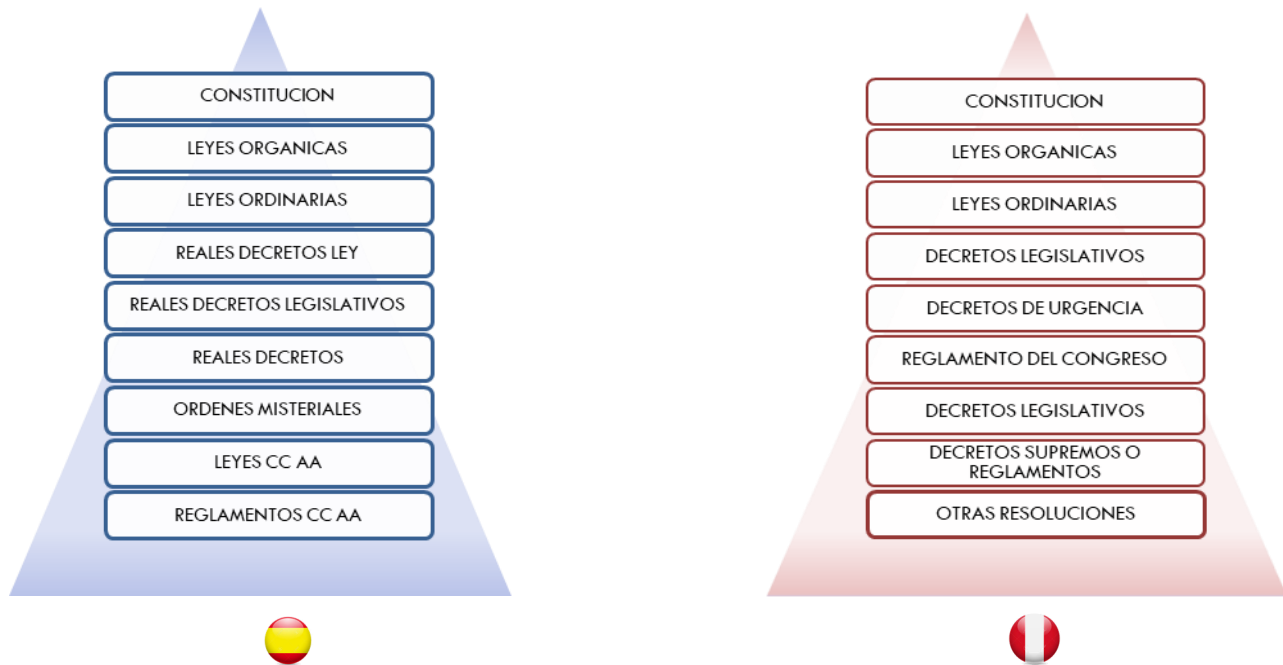


Figura 1: Comparación sistemas normativos España/Perú.

En el presente artículo no se pretende exponer una mera comparación de normativa de distinto rango, sino la utilización de un método comparativo que describa similitudes y disimilitudes. Al tratarse de un despliegue horizontal, permite comparar objetos que pertenecen al mismo género, basándose en el criterio de homogeneidad, que por ende se diferencia de la mera comparación [13].

Para finalizar esta fase inicial, igualmente se han establecido los ítems comunes a estudiar en ambas normativas y que coinciden con las diferentes tipologías y agentes intervinientes.

Generalidades y definiciones

1.1 Tipologías

1.2.1 Promotor

1.2.2 Proyectista/as

1.2 Agentes / Actores intervinientes

1.2.3 Constructor/Subcontratista

1.2.4 Responsable en la ejecución de las obras

1.2.5 Proveedor de productos

Tabla 1. Definición parámetros y fases comunes del proceso edificatorio España/Perú.

La segunda fase del estudio resulta de la ejecución del método sobre el análisis comparativo normativo entre los agentes involucrados en el proceso edificatorio (español y peruano), a través de sus referentes normativos de aplicación, para encontrar las diferencias, vacíos y posibles mejoras en

los actores que intervienen.

Para lograr un mejor control de la edificación y la posibilidad de impactar en la calidad de las edificaciones, y claro está en el consumidor final, que esté determinada por una buena gestión total del producto en todas sus etapas.

Este análisis es también cualitativo sobre los aspectos legislativos del proceso, que permiten configurar la situación real del propio proceso. Dicho análisis cualitativo se basa y estructura a través del inicial análisis comparativo sistemático entre la normativa de referencia. Se identifica a través de su desarrollo en cada sus funciones y su intervención en cada una de las fases del proceso edificatorio: proyecto-ejecución-finalización.

La tercera y última fase del proceso concreta el estudio cualitativo de lo previo, para, bajo los parámetros normativos de referencia en Perú para todo el proceso edificatorio, asimilar lo existente y reglado en la normativa española para su posible aprovechamiento, y así servir de base para establecer parámetros de actualización y de adaptación.

Se determina en la fase de conclusiones las posibles coincidencias, carencias y complementaciones dentro de la relación recíproca entre la normativa actual de aplicación entre ambos países.

Las intervenciones de los agentes en el proceso edificatorio son similares, sin embargo, de acuerdo con nuestra experiencia, podemos identificar y proponer agentes anexos para mejorar su función y responsabilidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se van exponiendo y enunciando según ítems reflejados en la Tabla 1.

ESPAÑA, según la LOE, Ley 38/1999

PERÚ, según la Ley 29090 y sus modificatorias

1. Generalidades y definiciones

1.1 Tipologías

Art. 2.

1. Esta Ley es de aplicación al proceso de la edificación, entendiéndose por tal la acción y el resultado de construir un edificio de carácter permanente, público o privado, cuyo uso principal esté comprendido en los siguientes grupos:

- a) Administrativo, sanitario, religioso, residencial en todas sus formas, docente y cultural.
- b) Aeronáutico; agropecuario; de la energía; de la hidráulica; minero; de telecomunicaciones (referido a la ingeniería de las telecomunicaciones); del transporte terrestre, marítimo, fluvial y aéreo; forestal; industrial; naval; de la ingeniería de saneamiento e higiene, y accesorio a las obras de ingeniería y su explotación.
- c) Todas las demás edificaciones cuyos usos no estén expresamente relacionados en los grupos anteriores.

2. Tendrán la consideración de edificación a los efectos de lo dispuesto en esta Ley, y requerirán un proyecto según lo establecido en el artículo 4, las siguientes obras:

- a) Obras de edificación de nueva construcción, excepto aquellas construcciones de escasa entidad constructiva y sencillez técnica que no tengan, de forma eventual o permanente, carácter residencial ni público y se desarrollen en una sola planta
- b) Obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que alteren la configuración arquitectónica de los edificios, entendiéndose por tales las que tengan carácter de intervención total o las parciales que produzcan una variación esencial de la composición general exterior, la volumetría, o el conjunto del sistema estructural, o tengan por objeto cambiar los usos característicos del edificio.
- c) Obras que tengan el carácter de intervención total en edificaciones catalogadas o que dispongan de algún tipo de protección de carácter ambiental o histórico artístico, regulada a través de norma legal o documento urbanístico y aquellas otras de carácter parcial que afecten a los elementos o partes objeto de protección.

3. Se consideran comprendidas en la edificación sus instalaciones fijas y el equipamiento propio, así como los elementos de urbanización que permanezcan adscritos al edificio.

Art. 3. definiciones

2. Edificaciones:

Es el resultado de construir una obra que albergará al hombre en el desarrollo de sus actividades. Comprende instalaciones fijas y complementarias adscritas a ella. Las obras que se consideran edificación son; edificación nueva, ampliación, remodelación, refacción, acondicionamiento, puesta en valor histórico monumental.

Para efectos de la presente Ley, se considerarán las siguientes obras de edificación:

- a) Edificación nueva: Aquella que se ejecuta totalmente o por etapas, sobre un terreno sin construir.
- b) Ampliación: Obra que se ejecuta a partir de una edificación preexistente, incrementando el área techada. Puede incluir o no la remodelación del área techada existente.
- c) Remodelación: Obra que modifica total o parcialmente la tipología y/o el estilo arquitectónico original de una edificación existente.
- d) Refacción: Obra de mejoramiento y/o renovación de instalaciones, equipamiento y/o elementos constructivos. No altera el uso, el área techada, ni los elementos estructurales de la edificación existente.
- e) Acondicionamiento: Trabajos de adecuación de ambientes a las necesidades del usuario, mediante elementos removibles, como tabiquería, falsos cielos rasos, ejecución de acabados e instalaciones.
- f) Puesta en valor histórico monumental: Obra que comprende, separada o conjuntamente, trabajos de restauración, recuperación, rehabilitación, protección, reforzamiento y mejoramiento de una edificación.

Tabla 2. Resumen Comparativo de las Tipologías de edificación España/Perú.

En cuanto a la definición de tipos de obras que requieren de licencia, ambas leyes coinciden diferenciando las mismas categorías. Sin embargo, la diferencia que incorpora la normativa de Perú también afecta la documentación que se presenta en el momento de solicitar una licencia, dando lugar a procedimientos más sencillos en algunos casos (Tabla 2).

Ahora, si bien no se mencionan en la propia ley de construcción los períodos de tiempo y los daños por los que el promotor debe hacerse responsable, actualmente se utiliza

para ello la Ley N° 29571, de protección del consumidor, donde en el Cap. IV art. 8 recoge los períodos de garantía: "Los períodos de garantía, que son establecidos por el proveedor de acuerdo con los siguientes criterios: (i) si son componentes o materiales, de acuerdo con lo establecido por el proveedor de los mismos; (ii) si son aspectos estructurales, como mínimo cinco (5) años desde emitido el certificado de finalización de obra y recepción de obra por parte de la municipalidad" [14] (Tabla 3).

ESPAÑA, según la LOE, Ley 38/1999

PERÚ, según la Ley 29090 y sus modificatorias, y RNE

1.2. Agentes /Actores intervinientes

Art. 8. Concepto:

Son agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones vendrán determinadas por lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

NORMA G.030. RNE

Art. 1. Los actores del Proceso de la Edificación que intervienen como personas naturales o jurídicas, instituciones y entidades públicas o privadas, son los siguientes (..)

1.2.1 Promotor

Art. 9. El promotor:

1. Será considerado promotor cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que, individual o colectivamente, decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

2. Son obligaciones del promotor:

- a) Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.
- b) Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
- c) Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
- d) Suscribir los seguros previstos en el artículo 19.
- e) Entregar al adquirente, en su caso, la documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones correspondientes.

Art. 17. En todo caso, el promotor responderá solidariamente con los demás agentes intervinientes ante los posibles adquirentes de los daños materiales en el edificio ocasionados por vicios o defectos de construcción.

4. Sin perjuicio de las medidas de intervención administrativas que en cada caso procedan, la responsabilidad del promotor que se establece en esta Ley se extenderá a las personas físicas o jurídicas que, a tenor del contrato o de su intervención decisoria en la promoción, actúen como tales promotores bajo la forma de promotor o gestor de cooperativas o de comunidades de propietarios u otras figuras análogas.

CAPITULO I. El propietario

Art. 8. Es la persona natural o jurídica, pública o privada a cuyo nombre se encuentra inscrita en el Registro de la propiedad, el predio sobre el que se pretende efectuar una obra de habilitación urbana o edificación.

CAPITULO II. El promotor Inmobiliario

Art. 9. Es la persona natural o jurídica, pública o privada, que de manera individual o en asociación con terceros, identifica oportunidades de inversión, obtiene el financiamiento, ejecuta la obra directamente o bajo contrato con terceros, administra, promueve y comercializa una edificación, para la posterior venta o alquiler a terceros.

Para el desarrollo de su actividad, el promotor inmobiliario deberá contar con lo siguiente:

- a) Tener la titularidad del terreno sobre el que se ejecutará la edificación o tener un derecho que lo faculte a ello.
- b) Cumplir con las responsabilidades señaladas en el Capítulo I, para el propietario.
- c) Obtener las licencias y autorizaciones necesarias para la ejecución de la edificación.
- d) Responder ante los clientes o usuarios finales, por los daños que pudieran existir en la edificación, dentro de los plazos establecidos.
- e) Entregar al cliente final, la documentación completa relativa a la individualización de su derecho de propiedad.

Tabla 3. Resumen comparativo del Promotor España/Perú.

Referente a él o los profesionales responsables, el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú establece ciertas discrepancias y similitudes con la Ley 38/1999 (Tabla4).

Debe aclararse primero, que en el catálogo de titulaciones peruano no existe la titulación de Arquitecto Técnico o Aparejador, sólo la de Arquitecto, quien es el profesional responsable del Diseño Arquitectónico de la Edificación.

Su actividad comprende: La calidad arquitectónica, los cálculos de áreas, las dimensiones de los componentes arquitectónicos, las especificaciones técnicas del Proyecto

Arquitectónico" art.19 G.030 RNE, no haciendo diferencias entre los distintos tipos proyectos que puede realizar, ya sean: viviendas, oficinas, construcciones hidráulicas, de telecomunicaciones, etc. Dejando ligeramente la interpretación de la normal al profesional. Cabe aclarar que la gran mayoría de profesionales sólo intervienen en la fase proyecto en lo que corresponde a su especialidad.

Los ingenieros, conforme sea su competencia, serán responsables del desarrollo de sus especialidades, así por ejemplo, el Ingeniero civil es el responsable del "Diseño Estructural de una Edificación.

ESPAÑA, según la LOE, Ley 38/1999

PERÚ, según la Ley 29090 y sus modificatorias, y RNE

1.2.2 Proyectista/as

Art. 10. El proyectista.

1. El proyectista es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto. Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.(..)

2. Son obligaciones del proyectista:

a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión.

Cuando el proyecto a realizar tenga por objeto la construcción de edificios para los usos indicados en el grupo a) del apart 1 del art. 2, la titulación académica y profesional habilitante será la de arquitecto.

Cuando el proyecto a realizar tenga por objeto la construcción de edificios para los usos indicados en el grupo b) del apart. 1 del art. 2, la titulación académica y profesional habilitante, con carácter general, será la de ingeniero, ingeniero técnico o arquitecto y vendrá determinada por las disposiciones legales vigentes para cada profesión, de acuerdo con sus respectivas especialidades y competencias específicas.

Cuando el proyecto a realizar tenga por objeto la construcción de edificios comprendidos en el grupo c) del apart. 1 del art. 2, la titulación académica y profesional habilitante será la de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico y vendrá determinada por las disposiciones legales vigentes para cada profesión, de acuerdo con sus especialidades y competencias específicas.

En todo caso y para todos los grupos, en los aspectos concretos correspondientes a sus especialidades y competencias específicas, y en particular respecto de los elementos complementarios a que se refiere el apartado 3 del artículo 2, podrán asimismo intervenir otros técnicos titulados del ámbito de la arquitectura o de la ingeniería, suscribiendo los trabajos por ellos realizados y coordinados por el proyectista. Dichas intervenciones especializadas serán preceptivas si así lo establece la disposición legal reguladora del sector de actividad de que se trate.

b) Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y a lo que se haya establecido en el contrato y entregarlo, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

c) Acordar, en su caso, con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

Art. 17. Responsabilidad civil de los agentes.

5. Cuando el proyecto haya sido contratado juntamente con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente. Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.

CAPITULO III. Los Profesionales responsables del Proyecto.

Art. 10. El diseño de los proyectos de edificación y habilitación urbana, así como la definición de las características de sus componentes, es de responsabilidad del profesional que lo elabora, según su especialidad. El proyecto debe cumplir con los objetivos de las normas del presente Reglamento.

Art 11. Los Profesionales Responsables del Proyecto son aquellos que están legalmente autorizados a ejercer su Profesión e inscritos en el correspondiente Colegio Profesional(..) Según su especialidad serán: el Arquitecto, para el Proyecto de Arquitectura; el Ingeniero Civil, para el Proyecto de Estructuras; el Ingeniero Sanitario, para el Proyecto de Instalaciones Sanitarias; el Ingeniero Electricista o electromecánico para el Proyecto de Instalaciones Eléctricas y Electromecánicas.

En caso se requieran proyectos especializados como gas, seguridad integral, redes de información y otros, se requerirá la participación del profesional especialista.

Art 12. Los profesionales responsables del Proyecto deben cumplir con:

a) Tener Título Profesional en la especialidad correspondiente.

b) Acreditar, por el Colegio Profesional al que pertenecen, que se encuentran habilitados para ejercer la Profesión.

c) Las normas y reglamentos vigentes, en la ejecución de sus servicios profesionales.

d) Prestar personalmente sus servicios profesionales por los trabajos contratados.

e) Las obligaciones pactadas en el Contrato.

Art 13. Los profesionales responsables deben firmar los planos, especificaciones y demás documentos de los cuales son autores, y que hayan elaborado como parte del expediente técnico.

Art 14. Son responsables por las deficiencias y errores, así como por el incumplimiento de las normas reglamentarias en que hayan incurrido en la elaboración y ejecución del proyecto.

Art 16. Los Profesionales Responsables del Proyecto, tienen derecho a supervisar la ejecución de las obras que proyecten, con el fin de verificar que se está cumpliendo con los diseños y especificaciones establecidas por ellos, existiendo o no un contrato específico sobre la materia.

SUB-CAPITULO II. DEL GERENTE DE PROYECTO

Artículo 17. Es la persona natural o jurídica que, cuando sea necesario por la magnitud del Proyecto, se encarga de administrar la ejecución de este en todas sus etapas.

Tabla 4. Resumen comparativo del Proyectista España/Perú.

La actividad de los ingenieros comprende: Los cálculos, las dimensiones de los componentes estructurales, las especificaciones técnicas del Proyecto Estructural y las consideraciones de diseño sismorresistente" Art. 20 G.030 RNE. Asimismo sucede con los ingenieros sanitarios, electricistas y electromecánicos. En este punto concuerda con la Ley 38/1999, que de acuerdo con el apartado 2 del art. 10 según la titulación del especialista y competencias intervendrán en el proyecto.

Por otro lado, la mecánica de la gestión de proyectos edificatorios es diferente entre ambos países. En Perú se divide la figura del proyectista en varios técnicos con campos bastante delimitados (arquitecto: diseño, ingeniero civil: estructura, ingeniero sanitario: instalaciones, etc.)

En general un proyecto es la suma de diferentes proyectos complementarios. En cambio, la figura del proyectista según la LOE española tiende a reflejar un autor principal. Puede incluir en su proyecto otros parciales, pero debe figurar como coordinador de los mismos. A no ser que se trate de un proyecto de gran envergadura, por regla general el proyectista asume las partes redactadas por los otros técnicos profesionales, sobre los que la propia LOE le hace responsable, con independencia de su posible repercusión posterior a los mismos.

Sin embargo, en Perú se hace mención al Gerente del proyecto, como un agente que va cobrando importancia en especial en proyectos de gran envergadura, pero del cual aún muchas empresas no son conscientes y hay pocos profesionales adecuados para desarrollar sus funciones [15].

Entendemos que para una mejor y completa gestión integral de los diferentes "subproyectos" que definen el total del proyecto en Perú, la figura del Gerente del proyecto debe ajustarse a todos los niveles de edificación, que puede equipararse a la idea general del proyecto emanada por la LOE. Dicho ajuste es necesario no solo en proyectos de gran envergadura y debe incluirse en todas las tipologías edificatorias.

En la Tabla 5, puede observarse como la figura del constructor es similar en ambas normativas, ya que debe tener la infraestructura física y legal necesaria, así como designar a su representación en la obra. En España, queda recogida la figura del Jefe de Obra (incluida en los diferentes convenios colectivos generales del sector de la construcción) como el representante técnico del constructor en la obra. En Perú, puede considerarse el Residente de obra como el representante (y por tanto con una vinculación directa) del contratista y como responsable técnico de la obra, regulado por Ley 30225 y Reglamento que la desarrolla.

Tanto en el RNE como en la LOE se establece la responsabilidad directa del constructor sobre lo construido (daños materiales por vicios o defectos de construcción), incluso si lo realmente ejecutado corresponde realizado por una empresa subcontratada.

Pero la diferencia radica en el contenido dentro de la normativa española que presenta una mayor profusión normativa específica al respecto, derivada de la presencia de

la subcontratación en obras. Este aspecto resulta uno de los posibles motivos de los altos índices de siniestralidad presentes en el sector de la construcción. De ello, resulta la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la Construcción en España, donde se limita a tres los posibles niveles de subcontratación a los que, como regla general, podrá descenderse en cada obra.

Establece igualmente una serie de requisitos tanto organizativos, como preventivos, de acreditación y registro que habrán de cumplir todas aquellas empresas que vayan a intervenir en estos procesos de subcontratación. Dicha Ley queda desarrollada posteriormente por el Real Decreto 1109/2007. En Perú existe la Ley N° 29245, de 2008, que regula los servicios de tercerización.

Esta forma de contratación y subcontratación, en muchos casos tiene una utilización fraudulenta; lo cual resulta en su mayoría perjudicial para la sociedad, principalmente para los trabajadores ya que atenta contra la seguridad jurídica, todo esto debido a la incoherencia normativa existente entre la Ley y reglamento que regulan los servicios de tercerización [16].

Sería pues necesaria una adaptación de la regulación de los servicios de tercerización dentro de la normativa del Perú, para introducirla en un ámbito completamente adaptado al proceso edificatorio.

En el caso de la fase de ejecución de las obras, la Tabla 6 muestra como, los agentes necesarios en la normativa española para formar parte de la dirección facultativa de las obras son más numerosos que los descritos en la normativa de Perú.

Hay que observar que cada agente se corresponde con una de las actividades necesarias e invariables del proceso constructivo español [17]. Así tenemos la necesaria presencia de un técnico Director de Obra (DO), encargado de la alta dirección o dirección técnica y un segundo técnico, el Director de la Ejecución de la Obra (DEO), encargado de la dirección de la propia ejecución material de la obra.

A estas dos figuras debemos añadir un tercer técnico, el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras (CSS), encargado de la coordinación de temas de seguridad laboral en las obras que cuenten con presencia de más de una empresa en la misma, según Real Decreto 1627/97, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. Frente a la necesidad de este triple equipo técnico, la normativa peruana propone como persona responsable de la construcción a un profesional responsable de obra (arquitecto o ingeniero).

Al diferencia de la LOE, que define la titulación necesaria para formar parte de la dirección facultativa según la tipología de obra, el RNE no especifica nada al respecto.

Igualmente, en relación a la importante labor relativa a la seguridad en las obras, la normativa peruana de referencia, la Norma G050-2010, indica que toda obra de construcción, deberá contar con un Plan de Seguridad y Salud que garantice la integridad física y salud de sus trabajadores,

ESPAÑA, según la LOE, Ley 38/1999. Ley 32/2006, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción (LSC)

PERÚ, según la Ley 29090 y sus modificatorias, y RNE

1.2.3 Constructor/Subcontratista

Art. 11. El constructor. LOE

1. El constructor es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato.

2. Son obligaciones del constructor:

- a) Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.
- b) Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.
- c) Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.
- d) Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.
- e) Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- f) Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
- g) Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.
- h) Suscribir las garantías previstas en el artículo 19.

Art. 17. Responsabilidad civil de los agentes. LOE

El constructor también responderá de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras dentro del plazo de un año.

Artículo 5. Régimen de la subcontratación. LSC

1. La subcontratación, como forma de organización productiva, no podrá ser limitada, salvo en las condiciones y en los supuestos previstos en esta Ley.

2. Con carácter general, el régimen de la subcontratación en el sector de la construcción será el siguiente:

- a) El promotor podrá contratar directamente con cuantos contratistas estime oportuno ya sean personas físicas o jurídicas.
- b) El contratista podrá contratar con las empresas subcontratistas o trabajadores autónomos la ejecución de los trabajos que hubiera contratado con el promotor.
- c) El primer y segundo subcontratistas podrán subcontratar la ejecución de los trabajos que, respectivamente, tengan contratados, salvo en los supuestos previstos en la letra f) del presente apartado.
- d) El tercer subcontratista no podrá subcontratar los trabajos que hubiera contratado con otro subcontratista o trabajador autónomo.
- e) El trabajador autónomo no podrá subcontratar los trabajos a él encomendados ni a otras empresas subcontratistas ni a otros trabajadores autónomos.

SUB-CAPITULO II. El constructor

Art. 24. La realización de una Edificación deberá estar a cargo de un Constructor, que puede ser una persona natural o jurídica.

Art 25. Es responsabilidad del Constructor:

- a) Ejecutar la obra con sujeción al proyecto y a las normas vigentes.
- b) Disponer de la organización e infraestructura que garantice el logro de las metas de la obra.
- c) Designar al profesional responsable de la construcción que asumirá la representación técnica del constructor en la obra.
- d) Asignar a la obra los medios humanos y materiales suficientes para culminar los trabajos dentro del plazo del Contrato, del presupuesto aprobado y con el nivel de calidad requerido.
- e) Formalizar las subcontrataciones de partes e instalaciones de la obra dentro de los límites pactados en el Contrato.
- f) Entregar al cliente la información documentada sobre los trabajos ejecutados.

Art. 26. El Constructor es responsable por las fallas, errores o defectos de la construcción, incluyendo las obras ejecutadas por subcontratistas y por el uso de materiales o insumos defectuosos; sin perjuicio de las acciones legales que pueda interponer a su vez en contra de los proveedores, fabricantes o subcontratistas.

SUB-CAPITULO V: DEL SUBCONTRATISTA

Artículo 37. Es responsabilidad del Subcontratista:

- a) Cumplir lo pactado en el Subcontrato para la ejecución de los trabajos comprometidos.
- b) Aclarar con el Profesional Responsable de Obra, aquellos aspectos que sean imprecisos.
- c) Elaborar y completar los registros que demuestren objetivamente el cumplimiento de los requisitos pactados en el Subcontrato.
- d) Informarse de las características de calidad del servicio, insumos, recursos, y producto terminado solicitado.
- e) Demostrar que está calificado y cumplirá con los requisitos establecidos en el Contrato Principal.
- f) Asesorar a su cliente en todo lo relacionado a las pruebas, ensayos, compromiso y otros que aseguren la calidad del servicio y/o producto solicitado.
- g) Cumplir con los códigos, reglamentos y normas vigentes, aplicables al objeto del contrato.

ESPAÑA, según la LOE, Ley 38/1999

PERÚ, según la Ley 29090 y sus modificatorias, y RNE

1.2.4 Responsable en la ejecución de las obras

Art. 12. El Director de obra.

1. El director de obra es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

2. Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del director de obra. (...)

3. Son obligaciones del Director de obra:

b) Verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno.

c) Resolver las contingencias que se produzcan en la obra y consignar en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.

d) Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.

e) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

f) Elaborar y suscribir la documentación de la obra ejecutada para entregarla al promotor, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

Art. 13. El director de la ejecución de la obra.

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado.

2. Son obligaciones del director de la obra:

b) Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.

c) Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.

d) Consignar en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas.

e) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.

f) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.

SUB-CAPITULO III. El Profesional Responsable de Obra

Art. 28. Las obras de edificación y habilitación urbana requieren la designación de un Profesional Responsable de Obra, cuya ejecución realizará directamente. Es responsable de dirigir la obra asegurándose que la ejecución de la misma, se realice de conformidad con el proyecto aprobado y la licencia respectiva, y cumpla con lo normado en el presente Reglamento.

Art.29. El Profesional Responsable de Obra debe tener Título Profesional de Arquitecto o de Ingeniero Civil colegiado y contar con un certificado de habilitación profesional vigente.

Art 30. Es obligación del Profesional Responsable de Obra:

a) Administrar los procesos constructivos y cumplir con las pruebas, controles, ensayos e inspecciones necesarios para ejecutar las obras aprobadas.

b) Formalizar las subcontrataciones de partes e instalaciones de la obra dentro de los límites pactados en el Contrato.

c) Firmar las actas de inicio y de entrega de la obra.

d) Resolver las contingencias que se produzcan en la ejecución de la obra.

e) Solicitar al cliente la aclaración de los aspectos ambiguos o incompatibles entre planos o entre estos y la especificaciones.

f) Cumplir con las disposiciones relacionadas con los cambios o respuestas a consultas sobre cualquier aspecto de la obra.

g) Cumplir con los requisitos de calidad pactados en el Contrato y establecidos en el Proyecto.

h) Cumplir con los códigos, normas, y reglamentos que son aplicables a la obra.

i) Verificar la recepción, en la misma obra, de los productos que serán incorporados en la construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas.

k) Elaborar y organizar la información sobre los procesos empleados durante la ejecución de la construcción.

l) Planear y supervisar las medidas de seguridad del personal y de terceras personas en la obra, así como de los vecinos y usuarios de la vía pública.

m) Elaborar y entregar al propietario o a su representante, al término de la construcción, los manuales de operación y mantenimiento, así como los manuales de los equipos incorporados a la obra.

Art. 34. Es obligación del Profesional Responsable de la Obra llevar, mantener actualizado y firmar el Cuaderno de Obra.

SUB-CAPITULO VI. DEL SUPERVISOR DE OBRA

Artículo 38.- En los casos de obras públicas o cuando el propietario lo estime conveniente, se designará un Supervisor de Obra, cuya función es la de verificar que la obra se ejecute conforme a los proyectos aprobados, se sigan procesos constructivos acordes con la naturaleza de la obra, y se cumpla con los plazos y costos previstos en el contrato de obra.

Artículo 39.- El Supervisor de Obra será un profesional especializado en la materia que va a supervisar, y podrá ser uno de los Profesionales Responsables del Proyecto.

Tabla 6. Resumen Comparativo del Responsable en la ejecución de las obras España/Perú.

sean estos de contratación directa o subcontrata y toda persona que de una u otra forma tenga acceso a la obra, aunque también expresa que la responsabilidad de supervisar el cumplimiento de estándares de seguridad y salud y procedimientos de trabajo, quedará delegada en el jefe inmediato de cada trabajador.

Entonces, el supervisor es el responsable de supervisar y controlar que la ejecución de la obra se realice conforme a los planos y especificaciones técnicas del proyecto aprobado. Sin embargo, no es habitual que el proyectista sea nombrado luego supervisor.

En Perú, existen empresas reconocidas encargadas de esta función, ya que se requiere que él/ellos se encuentren presentes durante todos los días laborales de la obra, ya que deben velar por la calidad en la ejecución de todas las partidas. Entre otras funciones, la supervisión debe (art. 40 G.030): revisar la calificación del personal del Contratista, Proveedor o Subcontratistas que participen; asegurar la

ejecución de las pruebas, controles y ensayos, previstos en las especificaciones del Proyecto; emitir informes que señalen el grado de cumplimiento de los requisitos especificados; y participar en el proceso de recepción de las etapas del Proyecto a nombre del propietario.

Se observa pues una mayor regularización técnica en la normativa española, lo cual puede equilibrarse en esta fase de la edificación en Perú a través de la generalización u obligación de la presencia del supervisor de obra en todas las construcciones o al menos en las más complejas, ya sean públicas o privadas. A lo anterior se añade la presencia de un técnico competente para la supervisión, documental y/o ejecutiva, de la seguridad de los diferentes procesos constructivos. Consideramos necesario para elevar el nivel de calidad en las edificaciones y disminuir los problemas estructuras que posteriormente se desarrollan, regular con mayor énfasis esta figura: Calavera (1996) reporta 51 % de fallos atribuibles a la ejecución y 37% atribuibles al proyecto. Ello pone en manifiesto la importancia de la supervisión [18].

ESPAÑA, según la LOE, Ley 38/1999

PERÚ, según la Ley 29090 y sus modificatorias, y RNE

1.2.5 Proveedor de productos

Art. 15. Los suministradores de productos

1. Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción.
2. Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.
3. Son obligaciones del suministrador:
 - a) Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable.
 - b) Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada.

SUB-CAPITULO IV. Del Proveedor

- Art. 36.** Es responsabilidad del Proveedor:
- a) Demostrar que está calificado y que su producto cumple con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas.
 - b) Informarse sobre las características de calidad del servicio, insumos, recursos y producto terminado solicitado.
 - c) Informarse de las especificaciones técnicas, códigos o normas técnicas aplicables al producto solicitado.
 - d) Informarse y comunicar al constructor que cumplirá con los controles, pruebas y ensayos aplicables a su producto o servicio.
 - e) Asistir al cliente en el uso y mantenimiento del producto o servicio entregado.

Tabla 7. Resumen comparativo del Proveedor de productos España/Perú.

El proveedor o suministrador de productor es quien, por designación del constructor, proveerá a la obra de los materiales que se requieran. Dentro de sus responsabilidades se regulan: la de cumplir con calidad o requisitos establecidos en las especificaciones técnicas y facilitar los manuales de uso y mantenimiento de los productos. Ahora bien, dentro de la LOE encontramos un agente que no es mencionado en el RNE, y que trabaja junto con los suministradores y con el propio constructor: los Laboratorios de Control de Calidad, para realizar ensayos y pruebas de materiales y sistemas; y las Entidades de Control de Calidad (ECC), cuya misión es el control de la calidad del proyecto, la ejecución y los materiales [19]. Consideramos importante regular sus responsabilidades, ya que, si bien en Perú existen entidades

como CAPECO, que certifican la labor de los laboratorios, ni el RNE ni la Ley 29090 hace mención de ellos.

Aunque en ambas leyes encontramos agentes que no son mencionados en una o en otra, queremos referir algunos que estimamos deberían ser incorporados por el nivel de intervención en desarrollo de la edificación o la vida útil del mismo:

- ◆ Las personas responsables de la revisión de proyectos (Cap. V G.030 RNE). En este punto el reglamento hace referencia a los involucrados en la revisión, ya sea por parte del Colegio de Ingenieros, Arquitectos o los responsables en las Municipalidades y nombra entre otros, los requisitos que deben cumplir para formar parte

de las comisiones técnicas.

- ◆ El propietario o usuario final (art. 16 LOE), donde la ley española define de manera correcta y clara las obligaciones que deben cumplir el/los propietarios para un adecuado uso y mantenimiento del edificio, responsabilizándolos en caso contrario.
- ◆ En el caso de Perú, en la Norma GE.040 cap. III Mantenimiento de las edificaciones, se indica que son los ocupantes de las edificaciones los responsables de su mantenimiento cumpliendo con lo normado en el reglamento interno.

4. CONCLUSIONES

La iniciativa del análisis comparativo de los agentes intervinientes en el proceso edificatorio entre Perú y España y en las referencias bibliográficas citadas, refleja las siguientes conclusiones sobre la actualización de los agentes intervinientes en el proceso edificatorio en Perú.

- ◆ Las carencias en la normativa peruana con referencia a su tipología en edificaciones de gran envergadura, complementándose con estudios de impacto poblacional y ambiental, sería de inestimable ayuda para su ordenación.
- ◆ La regulación activa de la figura del autopromotor en la normativa peruana ayudaría a controlar la creciente actividad de autoconstrucción irregular e insegura.
- ◆ En Perú, cada profesional solo interviene en su correspondiente especialidad, es decir que el proyecto se divide en varias especialidades (arquitectura, estructura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas e instalaciones mecánicas), sin ninguna que se haga cargo de su integración. Sin embargo, la RNE contempla la figura del Gerente de Proyectos, el cual solo actuará si la edificación es muy grande.

Sería pues conveniente la adaptación de la figura del Gerente de proyectos a toda la tipología de edificaciones resultante. Valorando su posible fusión con otras figuras existentes en tipologías más sencillas o de escasa entidad.

- ◆ Los vacíos de normativa peruana respecto a la presencia del subcontratista, tales como sus competencias, atribuciones legales, responsabilidades legales e infracciones por incumplimiento, son unas de las primeras causas como posibles motivos de los altos índices de siniestralidad (el aumento exponencial del riesgo y por lo tanto la frecuencia e intensidad de éste).

Las cadenas de subcontratación en el sector de la construcción en Perú concluyen normalmente en trabajadores independientes (renta de cuarta categoría) o incluso en encubrimiento de la relación laboral de subcontratación. Su regulación específica, actualizada y con límites claros, ayudaría en la ordenación de la actividad edificatoria.

- ◆ En el caso de España, existe mayor regularización para la figura del Responsable de la ejecución de obra, los cuales controlan y supervisan que la ejecución del proyecto este conforme. Están compuestos por los Técnicos Directivos (DO, DEO, CSS). Por el contrario en Perú, existe solo el Supervisor de Obra que desempeña este papel. Así mismo, no existen normativas acerca de las responsabilidades, obligaciones e infracciones por incumplimiento del encargado Seguridad y Salud de los trabajadores (Prevencionista de Riesgos), solo menciona el RNE (Norma G.050, art.5, sub art.5.5) acerca del Comité de Seguridad y para qué casos debería implicarse.

Su actualización y regulación específica sería necesaria dentro del marco del desarrollo de la ejecución de las obras y de sus posibles tipologías.

- ◆ Otros agentes, que no son mencionados por la RNE, son las Entidades y Laboratorios de Control, responsables de verificar la calidad de los productos, así como de trabajar en conjunto con los proveedores y con el constructor (residente de obra).
- ◆ En España no integran como parte de los agentes involucrados en el proceso de edificación al Colegio de Ingenieros, Arquitectos, Ayuntamientos, responsables en el visado del proyecto, debido a su normativa específica.
- ◆ Se debería integrar en la normativa peruana, a los agentes finales, como propietarios, en vez de ocupantes. Suya es la labor de mantenimiento como propiedad y no como usuarios.

5. REFERENCIAS

- [1] INEI. Censos Nacionales 2007. XI de Población y VI de Vivienda. <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- [2] Sánchez, G. R. (1965). Barrios Marginales en el Perú: Ley Orgánica de Barrios Marginales No. 13517.
- [3] Lozano Ramírez, M, Tesis Fin de Master, "Gestión de Viviendas Autoconstruidas en Asentamientos Humanos de Lima", Trabajo fin de Máster. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, UPM. 2011. http://oa.upm.es/9319/2/TESIS_MASTER_MARGARITA_LOZANO_R.pdf.
- [4] Quispe Romero, J. . El problema de la vivienda en el Perú, retos y perspectivas. Revista invi, 20(53). 2005.
- [5] F. Apestegui Chávez, "El boom inmobiliario y su repercusión en el crecimiento económico del Perú 2000-2012. Ph.D. dissertation, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú, 2015.
- [6] López-Morales, E. J., Gasic Klett, I. R., & Meza Corvalán, D. A. Urbanismo empresarial en Chile: políticas y planificación de la producción residencial en altura en el peri-centro del Gran Santiago. Revista invi, 27(76), 75-114. 2012. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582012000300003>.
- [7] Chilet, S. (7/03/2017). ¿Cuántas viviendas son productos de la autoconstrucción y qué riesgos enfrentan?. Revista Gestión [Online]. Available: <https://gestion.pe>
- [8] De Pereda, L., Schneider, F., Perico, M., and Cristia, A., "Dynamics of urban

transformation and opportunities for efficiency and sustainability in the mobility system in Latin American cities". *Building & Management*, vol. 1(3), pp. 04-16 , 2017. <http://dx.doi.org/10.20868/bma.2017.3.3657>.

[9] Ordóñez García, J.; et al. Análisis de la calidad documental relativa a la estabilidad estructural en el proyecto de edificación. En: *II Congreso de Ingeniería de la Organización*. Vigo: ADINGOR, 2002. pp. 37-41. [<http://hdl.handle.net/10481/32819>]

[10] Álvarez, M.A., Bucero, A., Pampliega, C.J. "Integrated Project Delivery, an alternative to the usual form of construction work in Spain". *Building & Management*, vol. 1(3), pp. 30-36, 2017 <http://dx.doi.org/10.20868/bma.2017.3.3656>

[11] Gómez, P. C. (2010). "La relación entre el derecho y el poder en la teoría pura del derecho de H. Kelsen". *Revista Telemática de Filosofía del Derecho*, (13), 273-296.

[12] Neiser, L., Ortiz, L, (2009) "La norma jurídica dentro del sistema legislativo peruano" Díaz, A. (2009). *Revista Electrónica Del Trabajador Judicial*, 1(5).

[13] Tonon, G. (2011). La utilización del método comparativo en estudios cualitativos en ciencia política y ciencias sociales: diseño y desarrollo de una tesis doctoral KAIROS. Recuperado el 02 de julio de 2016. de *Revista de Temas Sociales*: <http://www.revistakairos.org/k27-archivos/Tonon.pdf>.

[14] Consejo de Ministros, P. D. C. (2010). Aprueban incorporación del Procedimiento Sumarísimo en materia de Protección al Consumidor previsto en el Código de Protección y Defensa del Consumidor, en el TUPA del INDECOPI.

[15] Solís Carcaño, R. G. (2004). La supervisión de obra, *Ingeniería Revista académica Universidad Autónoma de Yucatán* (1), 55-60.

[16] Díaz Malpica, M. A. (2017). Efectos a nivel jurisprudencial como resultado de la incoherencia normativa existente entre la ley de tercerización y su reglamento.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.



Construction site layout optimization and 3D visualization through BIM tools

Visualización 3D y optimización a través de herramientas BIM aplicado a los planos de proyecto

OLUSEYE OLUGBOYEGA

BSc. Building, MSc. Construction Management. Department of Building, Obafemi Awolowo University, PMB. oolugboyega@oauife.edu.ng

OLORUNFEMI TIMOTHY WEMIMO

BSc. Building. Department of Building, Obafemi Awolowo University, PMB. olorunfemiwemimo@gmail.com

- ◊ Site layout plan is required for the management of the construction site and operations.
- ◊ A well-developed site layout has positive impact on workers, working environment, productivity and eventual success of a project.
- ◊ This paper developed a site layout model using BIM tools with construction methodology integration. The assumptions and processes adopted in the site layout model were expounded.
- ◊ An illustrative example was presented to substantiate the need to incorporate construction methods for projects in BIM-based modelling.

Site layout plan is required for the management of the construction site and operations. A well-developed site layout has positive impact on workers, working environment, productivity and eventual success of a project. Moreover, the proposed construction methods for a project have the most significant impact on productivity, quality and cost of construction projects. This paper proposes a site layout model through BIM and construction methodology integration. An illustrative case study method was adopted for the study, where the assumptions and processes adopted in the site layout model were expounded and illustrative example was presented. The study substantiated the need to incorporate construction methods for projects in the BIM-based modelling of construction site layout plan; and the need to reinforce the possibility of re-thinking the processes of planning, construction, and management of projects.

BIM; Construction methods integration; Site layout model; Site facilities; Site layout plan

- ◊ Es preciso planificar la implantación y ejecución de la construcción para una adecuada gestión de la construcción.
- ◊ Una buena planificación de la implantación tiene un impacto positivo en los trabajadores, en el ambiente de trabajo, en la productividad y en el éxito del Proyecto.
- ◊ En este estudio se propone utilizar las herramientas BIM integrando metodología de construcción para desarrollar la planificación de la implantación y ejecución de la construcción.
- ◊ Este estudio ilustrativo demuestra la necesidad incorporar los métodos constructivos en los modelos BIM.

Es preciso planificar la implantación y ejecución de la construcción para una adecuada gestión de la construcción. La implantación y distribución de los espacios de acopios y servicios tiene un impacto positivo en los trabajadores, en el ambiente de trabajo, en la productividad y en el éxito del Proyecto. Tener en cuenta en la planificación de la construcción los métodos y soluciones constructivas definidos en el Proyecto de Ejecución tienen un gran impacto en la productividad, calidad y coste del Proyecto. En este estudio se propone utilizar las herramientas BIM integrando metodología de construcción para desarrollar la planificación de la implantación y ejecución de la construcción. Para ello se utiliza un caso de estudio ilustrativo en el que se exponen los supuestos y los procesos adoptados. El estudio confirma la necesidad de tener en cuenta e incorporar los métodos y soluciones constructivas en el modelo BIM de la implantación de la construcción para estudiar con antelación la planificación, la ejecución y la gestión del proyecto.

BIM; Métodos integrados de construcción; Modelo de la implantación del proyecto; Planificación de la implantación del proyecto.

1. INTRODUCTION

Site facilities and utility spaces support construction activities and if they are not properly positioned, the efficiency of construction activities would be affected.

In order to ensure proper and optimal positioning of site facilities and utility spaces, a number of authors have

proposed the usage of artificial intelligence, linear programming, generic algorithm, ant intelligence, and geographic information system for site utilization planning.

These approaches lack visualization and data-exchange capabilities, which hinder the incorporation of construction methodology in the planning process. To improve the process of site layout planning, usage of Building Information Modelling (BIM) was introduced; and this changed the process

from site layout planning to site layout modelling.

Site layout modelling is the process of developing site layout model (*SLM*) of site facilities and utility spaces organization within the construction site boundary. [25] noted that *SLM* is required for internal and external logistic arrangements of the construction site and operations.

A well-developed *SLM* has been described as having positive impact on workers and working environment [23], and having direct impact on the productivity and eventual success of a project [8].

Site layout modelling has been examined by [31, 17, 2, 5, 25, 18]. [17] focused on site layout in relation to scheduling, path interference, and space constraints. The study developed a 4D site layout planning system to solve space constraints on construction site. [5] proposed an automated framework for creating dynamic *SLM* in *BIM* based on genetic algorithm heuristic method. [2] developed a 3D- parametric library and an agent-based simulation model for planning the building construction site, by taking into consideration the real dimensions and shapes of the site facilities.

The study focused on tower cranes as the major transporters of the materials on construction sites. [25] carried out a site layout modelling test for a 3-storey residential building project. The study developed a component library for use in *BIM*-based site layout planning.

The model was developed as static plan in different perspectives. [18] focused on *BIM*-based automatic assignment of spatial requirements of construction processes and site safety. A decision support system for the planning process of site layout with regard to productivity and safety was developed by the study.

The proposed *SLM* by these studies did not consider the realities of construction site operations and the resulting spatial relationships among site facilities. Moreover, the average human walking speed was not considered for time optimization and explanation was not made available on how the *SLM* will ensure safety.

As noted by [14,18], the proposed construction methods for a project is of more value in project planning than programming and optimization techniques. Also, [26] reported that construction methods have the most significant impact on productivity, quality and cost of construction projects.

The purpose of this study is to propose a construction site layout model that incorporates knowledge of construction methods and *BIM* tools integration. Toward this effort, this study will examine the state of the art optimization models for site layout planning and modelling methods for construction site layout.

Further, methods of determining the spatial relationships and sizes of site facilities will be investigated. An alternate method of construction site layout optimization and modelling will be offered based on the constraints of construction site operations

and construction methods. Finally, the proposed site layout model will be applied through an illustrative case study.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 OPTIMIZATION MODELS FOR SITE LAYOUT PLANNING

The existing optimization models for site layout plan can be classified as artificial intelligence-based models [29,4,16,27], linear programming-based models [33,11], genetic algorithm-based models [9,19,24], Geographical information system (*GIS*) based models [6,7,20], ant intelligence-based models [21,28], and *BIM*-based models [5,25,31]. Linear programming-based model, genetic algorithm-based model, and ant intelligence-based model focused more on mathematical optimization.

GIS-based model only provides decision support information in site layout modelling; only *BIM*-based model allows optimization to be visualized which gives freedom for construction methodology to be incorporated into the optimization model.

A construction site is not just a space; although, it is static geographically but dynamic in terms of construction activities and workers. The interaction between the workers, the work, and the site facilities to be positioned on the site space demands that the predicted flow of work based on the proposed construction method, geometry of the building, material and time schedule for the work scenarios, should affect the optimization model [18].

[24] attempted to develop a multi-objective optimization models capable of generating global optimal solutions. Two optimization models were developed to minimize travel and relocation costs, and to comply with boundary, overlap, distance, and zone constraints. The first model is a genetic algorithm based optimization model, while the second model is an approximate dynamic programming based optimization model that incorporates the long-term effect of the current position of site facilities on the future positioning in the subsequent work stages.

However, not all site facilities are stationary, some site facilities are movable or fixed; and this factor should be incorporated in the optimization model. Also, construction work is carried out in phases, and the positions of site facilities change with the work phase.

This means that each of the work phase should have a distinct optimization model, depending on the duration of the work phase and the number of site facilities required for the work phases. More so, the optimization models as proposed by [24] are tedious, not practical, used Euclidian distances, did not consider spatial relationships, and were not based on knowledge of construction methods.

[5] proposed a *BIM*-based optimization model capable of minimizing the total inter-facility transportation cost of

materials and labour and capable of ensuring safety.

This optimization model as proposed by [5] is more practical than and not as time-consuming as those of [24]. Also, the proposed model use travel distance and not Euclidian distance. However, the travel distance as used by [5] was computed using A* algorithm and the travel path was limited to move in eight directions. This assumption reduced the accuracy of the travel distance.

The travel distance should have been computed for each of the grid cells with reference to the building area. Also, the optimization model was developed without consideration for the total number of workers on site and the spatial relationships among site facilities. In addition, no explanation was provided on how the optimization model will account for safety.

Minimization of cost in the optimization models is not necessary, as it only makes the models more tedious and unrealistic. Besides, studies have shown that optimization models that minimizes total travel distance are the best [5, 32]. Nevertheless, the travel distance should be converted to travel time using the average human walking speed.

Construction operations could be delayed as a result of lack of free flow of construction activities and by dint of spending long time in moving around the construction site space. Hence minimizing walking time on construction sites takes priority over minimizing cost in *SLM*, since the cost incurred over relocation of site facilities cannot be compared to the cost that would be incurred as a consequence of time overrun of projects. Also, *SLM* has an indirect effect on construction costs since it affects efficiency, productivity, utility and mobility of labour.

2.2 SIMULATION AND MODELLING

Site layout plans have been simulated using Monte Carlo Simulation [17], Flow chat based Simulation [13], and Discrete-Event Simulation [30]. Monte Carlo and Flow chat based Simulations are types of static simulation and are applicable only where time-varying interactions are not considered. In *SLM*, time-varying interactions must be considered between the site space and the site facilities.

Discrete-Event simulation (*DES*) is applicable for *SLM* because it can capture significant changes that occur at discrete time instances or workflow scenarios.

However, there are various types of *DES* with different applications. Petri Net-based Simulation is a type of *DES* that employs static simulation network and dynamic simulation system. The static and dynamic simulation systems of petri net-based simulation can be used to simulate locations, transitions, directions, and current status of a system.

Agent-based simulation is another type of *DES* which can be used to simulate actions and interactions of autonomous individuals. It is major application is for investigating the influence of autonomous individuals on a system and the

efficiency of the system. Geometric-based Simulation is also a type of *DES* which is applicable in manipulating, reorganizing, analyzing, and describing static trajectories for geometric models and the crew performing work on the project.

The construction site space is forever in a static state and some site facilities are fixed in positions. However, construction is carried out in stages, thereby requiring different work scenarios which also cause dynamic interactions among the site facilities and requires them to change positions as the construction work progresses.

A system of simulation that combines static and dynamic simulation systems is therefore required for site layout plan. Petri net based simulation is best suited for simulating site layout plans. It is a system of simulation where the site space and fixed site facilities could be simulated as static; and the dynamism of the construction processes as affecting the availability of space and positioning of stationary and movable facilities could also be simulated.

Modelling of site layout is about visualization and presentation of the simulated site layout plans. [3] asserted that the simulated site layout plans can easily be visualized and presented using *BIM*. This assertion was based on the argument that *BIM* will easily capture the interactions among the site facilities and evaluate the location and transitions of the site facilities.

A study by [5] argues that construction activities should be split into multiple phases and that site layout plan should be developed for each phase. In support of this argument, [18] noted that not all site facilities are required at each construction stage; for this reason, the construction process be divided into discrete phases and site facilities required for each phase should be identified, optimized, and modelled.

In addition, [12] noted that construction sites are dynamic owing to transient workforce, physical structure, changes in spaces, and changes in environmental conditions and that these changes should be considered in the planning of site layout. [8] claimed that *BIM* can effectively capture the dynamic nature of construction activities and also help in the development of a highly functional *SLM*.

Applying *BIM* for site layout plan makes site management plans visually illustrative and realistic [25], facilitates site utilization at different work scenarios and gives a clear and dynamic view of work space [32], optimizes time and safety measures in site layout plans and improves the efficiency, quality and information depth of site layout plans [18], digitalizes simulation process of site layout plans [12], beneficial in managing the characteristics of site layout plans and provides the best tool for managing site space information and site facilities mobility [23], and helps in meeting the data exchange requirements in *BIM* processes and checking *SLM* against pre-defined rules and constraints [25].

2.3 SIZING OF SITE FACILITIES

According to [5], the sizes of site facilities should be determined based on work contents, peak rate of consumption of resources, number of workers and site areas. However, there are other factors that can affect the sizing of site facilities, such as time schedule, safety, construction methodology, procurement and delivery plan, and phase of work.

2.4 SPATIAL RELATIONSHIPS AMONG SITE FACILITIES

Site layout plan is unique for each project, but site constraints are similar in a way. [10] observed that site constraints for site layout plan should be limited to spatial relationships among site facilities and the site exclusions.

The characteristics of the site exclusions such as immediate surroundings, adjoining streets, walkways, traffic situation, power and water supply will restrict the site space, which is a form of constraints, known as space constraints. In spite of space constraints, the spatial relationships among the site facilities will determine the relative positions of site facilities to one another.

According to [9], the ideal way to address spatial relationships among site facilities is to divide the site space into central, inner, outer, and neutral zones. The central zone is for primary or fixed site facilities such as tower cranes, lifting plants, and building area.

Central zone represents the primary area of work. Other zones are secondary area of work, and should be allocated thus: inner zone for site facilities that are often required or very active site facilities; examples are batching area, gravel depot, block depot, and sand depot.

The outer zone represents the not very active area and it is suitable for site facilities such as workshops, material storage, fabrication area, and equipment yard.

The neutral zone is the area surrounding the outer zone but still within the construction site. Facilities such as project offices, consultant offices, subcontractors' offices, parking spaces, test labs, waste dump, toilet, security post, formwork depot, and site accommodation should be positioned in the neutral zone.

Some site facilities need to be located far from each other, some need to be in line of sight with each other, while some need to be inside or outside each other. These requirements are realities of construction site operations and constitute the spatial relationships among site facilities.

A *SLM* that incorporates spatial relationships among site facilities will meet the requirements of the construction site and will also enable assessment and validation of the model. [32,8] noted that in site layout modelling, the applicable site constraints should be investigated because if left unaddressed, site constraints could result in unproductive interactions between site facilities, delays and cost overruns, and buildability problems.

Examples of site constraints that should be considered in site layout modelling include: site boundary constraints, spatial conflicts or limited land space, topographical constraints, physical overlap between facilities, building area, maximum/minimum distances between site facilities, zone constraints for facilities placement, site objects, safety zone in workplaces, offset for scaffolding around the building area, frequency of travel on site, number of workers on site, walking speed, and operation spaces for site equipment and vehicles.

3. MODEL ASSUMPTIONS

SLM developed in this paper is developed using *BIM* tools together with the realities of construction site operations, spatial relationships among site facilities, and other construction methodology constraints. The assumptions and processes adopted in developing *SLM* in this paper are as follows:

- a) Identify the workflow scenarios: the workflow scenarios should be identified based on the proposed construction program. Petri-net-based simulation method should be adopted to model the workflow scenarios.

This method is appropriate owing to the dynamic interactions between the site facilities and the site space.

The work should be divided into scenarios because construction work is dynamic; while the site space should be simulated as static. The position of site facilities change with change in work.

- b) Identify the site facilities required: The site facilities required for each workflow scenarios should be determined based on the nature of work in each scenarios.

- c) Determine the sizes and number of site facilities required: Offset should be allowed for scaffolding around the building area and for safety around work spaces such as depots (block, formwork, and rebar), batch plants, workshops, material store, fabrication yard, site equipment yard, delivery area, site access, and power generation.

The incorporation of offset for safety or scaffolding in the determination of the sizes of site facilities will require the use of theoretical size for the simulation processes; while the actual size will be used in the optimization and modelling processes.

The length of the offset should be informed by the availability of space on construction site; however, the offset-length should not be too much. Therefore, this study recommends 1m for safety offset (Figure 1) and 2m for scaffold offset. The number of site facilities should be based majorly on types of materials and sizes of materials as contained in the construction methodology of projects.

To determine the actual size for the site facilities, the site facilities should be grouped into three: site facilities accommodating materials as a predominant occupier (SAM), site facilities accommodating plants as a predominant occupier (SAP), and site facilities accommodating workers as a predominant occupier (SAW).

The following formulas were suggested for computing the actual sizes for the required site facilities in each group:

$$\text{Actual size required for SAM} = \frac{Q}{T.H} \quad (\text{Equation 1})$$

Where:

- ◆ Q = quantity of resources required for an activity
- ◆ T = time allowed for the activity
- ◆ H = safe storage height for resources

For rebar depot (Figure 2), actual size required for:

$$\text{rebar depot} = L_r \times E_r \quad (\text{Equation 2})$$

Where:

- ◆ L_r = maximum length of rebar among the rebar in the depot = 6m
- ◆ $E_r = \sum_{i=1}^{i=m} Ri, m$ = number of rebar diameter in a rebar group
- ◆ $R_i=3m$. It is logical to store rebar in groups. Rebar with diameter less than 20mm should be grouped together and rebar with diameter above 20mm should be grouped together

$$\text{Actual size required for SAP} = l_v \times E_v \quad (\text{Equation 3})$$

Where:

- ◆ l_v = maximum length of site vehicles.
- ◆ $E_v = \sum_{i=1}^{i=n} w_i$
- ◆ n = number of plants / vehicles proposed in the construction methodology
- ◆ w_i = width of site vehicles

$$\text{Actual size required for SAW} = \frac{nV}{h} \quad (\text{Equation 4})$$

Where:

- ◆ V = average room volume required per person = 11m³ [1]
- ◆ n = number of workers per site facilities
- ◆ h = average roof height required per person [1]

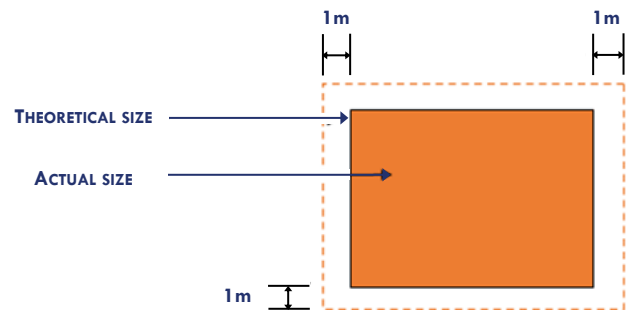


Figure 1: Offset for safety

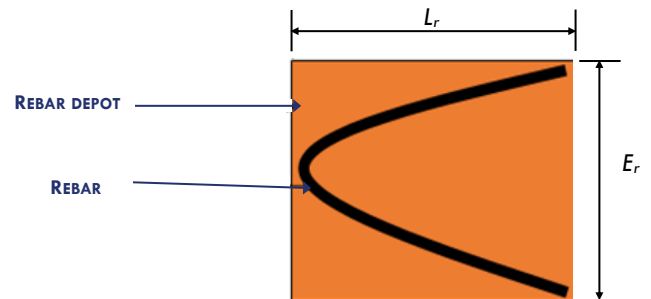


Figure 2: Sizing rebar depot

- d) Determine the spatial relationships among the site facilities: The site should be planned by dividing the site space into cells using an orthogonal grid system based on zones (central, inner, outer and neutral zone). The size of the grid cells should be determined by using the size of the largest site facility in each zone. The central zone should comprised strictly of the building area and site access. The zone that a site facility belongs to could change as work scenarios change and more space becomes available. The zone should be used to allocate the site facilities and any constrained end of the construction site should be allocated to the zones based on the number of site facilities in each zone. The site facilities can be arranged as follows:
- i. Site facilities that are in high demand such as on-site batching plants and block depots, should be located in two or more different locations or at opposing ends of the building area.
 - ii. Rebar should be stored in groups.
 - iii. Site facilities that serve all other facilities, for example; material store, should be centrally located so that they easily accessible.
 - iv. Dependent site facilities should be located close to site facilities that they are dependent on, for example; rebar depots and fabrication yards, formwork depots and fabrication yards, fabrication yards and waste dump, delivery area and material store, and power supply and fabrication yard.
 - v. The location of toilets should not be too remote.
- e) Determine the travel paths between the site facilities and

the reference point: Travel paths should follow the work paths which should be taken as the sum of the shortest gridline from a grid cell to the building area. This will define in reality the distance per metre between the site facilities and the building area and will also take care of the need to circumvent obstacles (Figure 3).

Work paths represent the flow areas between site facilities and the building area. They are paths that could be used as exit path, access path, transportation path, navigation path, material path, and material handling equipment paths.

- f) Determine the walking time between the site facilities and the reference point: Using the average human walking speed of 5000 m/h recommended by [22], the walking time between the site facilities and the building area could be determined using this formula:

$$\text{Walking time between site facilities and the building area} = \frac{D_{sa}}{S_{av}} \quad (\text{Equation 5})$$

Where:

- ◆ D_{sa} = Distance per metre between the site facilities and the building area
 - ◆ S_{av} = Average human walking speed = 5000 m/h
- g) Optimize the site utilization plan for each workflow scenarios: The optimization models could be computed using MS Excel. The proposed construction methodology will provide the knowledge of the flow of construction activities, and this factor has the greatest impact on productivity, cost and safety on construction sites.

The positioning of site facilities should minimize walking time on construction site. The minimization of the walking time should be done on zone basis (equation 6), work phase basis (equation 7), while the overall optimized walking time for the project using equation 8.

Also, the dynamic interactions among site facilities, site space, and construction work should be taken advantage of in optimizing walking time on construction sites.

As construction work progresses, the state of the site will change and spaces will become available for site facilities to occupy. The available site space should then be occupied by site facilities that are not fixed in positions.

Optimization model for site facilities,

$$Z = \min \sum_{j=1}^{j=n} N_L T_P F_{IJ} W_{IJ} \quad (\text{Equation 6})$$

Optimization model for work phases,

$$Z = \min \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} N_L T_P F_{IJ} W_{IJ} \quad (\text{Equation 7})$$

Optimization model for SUM,

$$Z = \min \sum_{p=1}^N \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} N_L T_P F_{IJ} W_{IJ} \quad (\text{Equation 8})$$

Where:

- ◆ N_L = number of labour on site
- ◆ T_P = time (in days) of work phase
- ◆ F_{IJ} = frequency of travel per labour per day from site facility (i) to building area (j)
- ◆ W_{IJ} = walking time between site facility (i) and building area (j)
- ◆ N = total number of work phases
- ◆ P = work phases
- ◆ n = number of zones
- ◆ m = number of site facilities in each work phase

- f) Develop the SLM: The 3D objects required for modelling the SLM could be authored using appropriate BIM authoring software such as Autodesk Revit or downloaded from www.revitcity.com, www.seek.autodesk.com, or www.bimstop.com.

4. NUMERICAL EXAMPLE

The site for the construction of the new Obafemi Awolowo University (OAU) Senate Building was selected as the case study for this study. The site is situated close to existing buildings and roads on OAU campus.

The physical features restricting operational spaces for construction activities on the selected case study include: electricity poles around the site boundary, tree, and spatial conflicts between the site facilities and physical overlap between the site facilities. Other constraints observed on the site include: underground power cable, and existing road around the site.

The proposed site equipment and vehicles in the construction methodology are aero poles, scaffolding chips, circular machine, Gee-saw, cutting machine, truck, bulldozer, Grader, and pay loader. Tower crane was not considered for use in the project because of electricity poles around the site boundary.

Other plans as contained in the construction method for the project are in-situ concreting, on-site batching plants, on-site fabrication of materials, on-site treatment of waste, and re-use of material waste. A total of 43 workers is expected on site and the frequency of travel between site facilities and building area per person per day is based on the experience of the site managers.

4.1 SIMULATION PROCESSES

4.1.1 WORKFLOW SCENARIOS IN THE PROJECT TIME SCHEDULE

The required site facilities for work scenarios as shown in Table 1 were determined based on the work content in the work phases. Table 1 shows the work scenarios and duration as extracted from the construction methodology for the project. The workflow were grouped into six scenarios according to the time schedule for the project.

4.1.2 NUMBER AND SIZES OF SITE FACILITIES REQUIRED FOR WORKFLOW SCENARIOS

As explained in Table 2, the proposed construction methods was used to determine the number of the required site facilities identified in Table 1.

An offset 1m and 2m were allowed around the site facilities and the building area respectively. The required sizes for the site facilities were determined by using Equation 4 – 7.

Workers on construction sites will travel between site facilities

Phase	Workflow scenario	Time in days	Required site Facilities
Phase One	Site organization	15	Site office (project manager/project office), Building area, Security post, Water supply ,Power supply, Site access
Phase Two	Foundations	22	Gravel depot, Block depot, Sand depot, Workshop, Batch plant, Consultant's office, Sub-contractor's office, Material store, Rebar depot, Fabrication yard, Formwork depot, Equipment yard and Car park, Delivery areas, Waste dump, Toilet and bathroom, Site accommodation, Site access, Site office, Security post, Water supply, Power supply, Building area
Phase Three	Building structure	46	Gravel depot, Block depot, Sand depot, Workshop, Batch plant, Consultant's office, Sub-contractor's office, Material store, Rebar depot, Fabrication yard, Formwork depot, Equipment yard and Car park, Delivery areas, Waste dump, Toilet and bathroom, Site accommodation, Site access, Site office, Security post, Water supply, Power supply, Building area
Phase four	Building envelope	25	Gravel depot, Block depot, Sand depot, Workshop, Batch plant, Consultant's office, Sub-contractor's office, Material store, Equipment yard and Car park, Delivery areas, Waste dump, Toilet and bathroom, Site accommodation, Site access, Site office, Security post, Water supply, Power supply, Building area
Phase Five	External works	61	Gravel depot, Block depot, Sand depot, Batch plant, Toilet and bathroom, Site access, Site office, Security post, Water supply, Power supply, Building area
Phase Six	Inspection and Handing over	14	Building area, Security post, Site access, Equipment yard and Car park

Table 1: Required Site Facilities for Workflow Scenarios

and the building area in order to move materials and equipment. The frequency of travel between a site facility and building area depends on importance of the materials being produced in that site facility and the experience of the construction site manager. Therefore, the frequency of travel

between site facilities and building area per labour per day was extracted for each of the site facility from the proposed construction methodology for the project.

Site facilities	No	Variable(s) considered	Required size (m)	Frequency of travel between site facilities and building area per labor per day
Gravel and Sand depot	2	Safety offset	17 x 16.5	10
			15 x 12.8	
Block depot	2	Safety offset	8.2 x 6.9	10
			9.6 x 7.2	
Workshop	1	Safety offset	7.1 x 14.2	6
Batch plant	2	Safety offset	3.1 x 5	30
			9.75 x 5.4	
Consultant's office	1		15.4 x 3.4	5
Subcontractor office	1		4.7 x 2.75	5
Site office	1		3.5 x 2.7	10
Material store	1	Safety offset	6.7 x 9.75	10
Rebar depot	2	Safety offset	13.7 x 7.7	7.2
			16.3 x 7.6	
Fabrication yard	1	Safety offset	7.1 x 14.3	5
Work paths	---	Safety offset	4.1	
Formwork depot	1	Safety offset	9.5 x 5.4	12
Equipment yard and Car park	1	Safety offset	12 x 28.1	5
Delivery area	1	Safety offset	9.5 x 10.5	3
Waste dump	1		6.2 x 5.3	3
Toilet and Bathroom	1		4.55 x 2.75	5
Site accommodation	1		15.25 x 7.5	3
Building area	1	Safety and scaffolding offset	33.83 x 51.03	
Security post	1		2.7 x 3.1	2
Water supply	1		2 x 2.4	5
Power supply	1	Safety offset	4 x 4.1	1
Site access	1	Safety offset	9.3	-----

Table 2: Number and sizes of site facilities required for workflow scenarios.

4.1.2 SPATIAL RELATIONSHIPS, TRAVEL PATHS AND WALKING TIME

The site space was divided up into the central zone, inner zone, outer zone and neutral zone. Each of the zones was divided up into grid cells (Figure 3).

In the workflow scenarios, the site facilities required were allocated to the appropriate zones based on the recommendations of [9] (section 2.4 and Table 3). The size of the largest site facilities in each zone was used to determine the size of the grid cells as explained in Figure 3 and Table 4.

The site has two constrained ends at the 22 m side and 5 m side (Figure 3). In order to share these constrained ends among the zones, the number of site facilities in each zone was

used to determine the ratio of allocation for each of the zones. For the 22 m side of the constrained ends, 6.6 m was allocated to the inner zone, 4.4 m was allocated to the outer zone, and 11 m to the neutral zone (Table 4).

The travel path between the site facilities and the reference point (building area) was determined by extracting the dimensions of the grid cells in each zone from the site space. The shortest gridlines in distances per metre from grid cells to the building area were identified from Figure 3.

These were denoted using arrow symbol in Figure 3 and were itemized as travel paths in the third column of Table 5. The time it will take the workers to walk from the grid cells to the building area was determined using Equation 5.

Workflow scenario	Central Zone	Inner Zone	Outer Zone	Neutral Zone
Site organization	Building area, Site access			Site office, Security post, Water supply, Power supply
Foundation	Building area, Site access	Block depot, Batch plant, Rebar depot	Gravel and Sand depot, Workshop, Material store, Equipment yard and Car park, Fabrication yard	Consultant's office, Subcontractor office, Formwork depot, Delivery area, Waste dump, Toilet and Bathroom, Site accommodation
Building Structure	Building area, Site access	Block depot, Batch plant, Rebar depot	Gravel and Sand depot, Workshop, Material store, Equipment yard and Car park, Fabrication yard	Consultant's office, Subcontractor office, Formwork depot, Delivery area, Waste dump, Toilet and Bathroom, Site accommodation, Site office, Security post, Water supply, Power supply
Building Envelope	Building area, Site access	Block depot, Batch plant	Material store, Equipment yard and Car Park	Consultant's office, Subcontractor office, Delivery area, Waste dump, Toilet and Bathroom, Site accommodation, Water supply, Site office, Power supply, Security post
External works	Building area, Site access	Block depot, Batch plant	Gravel and Sand depot, Equipment yard and Car park	Delivery area, Toilet and Bathroom, Water supply, Site office, Power supply, Security post
Inspection and Handing over	Building area, Site access		Equipment yard and Car park	Security post

Table 3: Zoning of Site Facilities

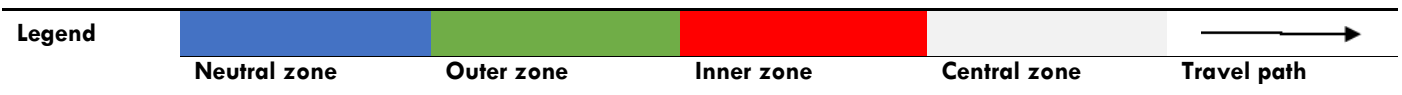
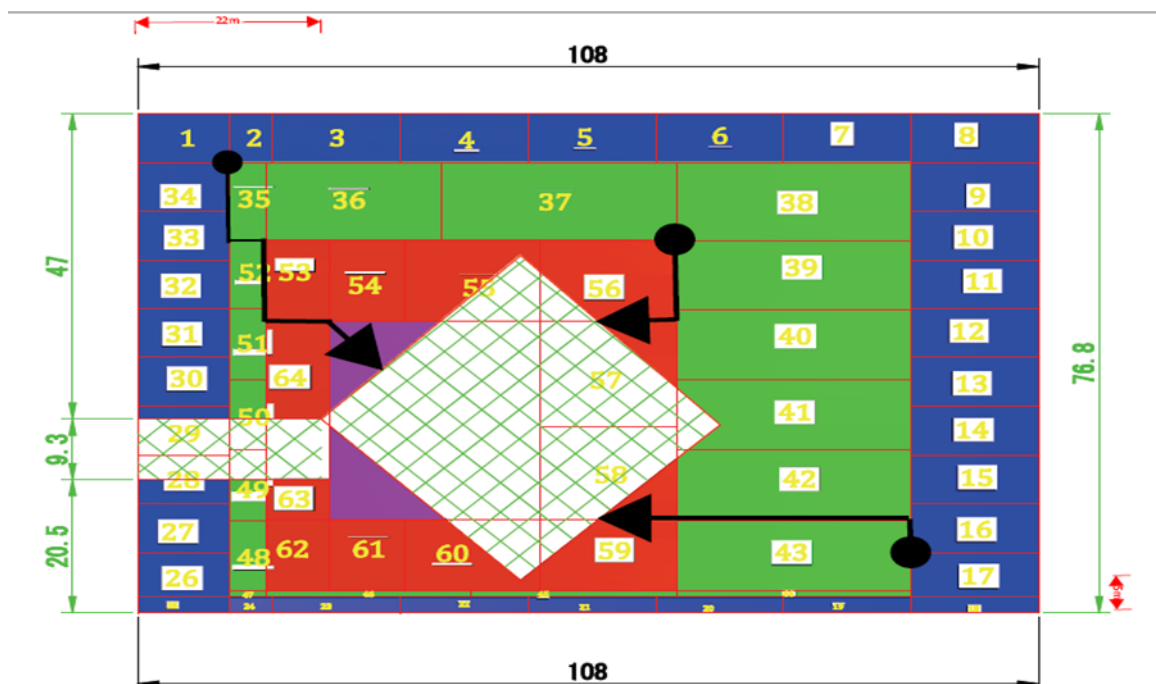


Figure 3: Zoning of site space.

Zones	Size of cell grid	Number of site facilities in zone	Ratio of allocation	Allocation of constrained end of the site	
				22 m side	5 m side
Inner zone	17 m x 16.5 m	6	30%	6.6 m	1.5 m
Outer zone	12 m x 28.1 m	4	20%	4.4 m	1.0 m
Neutral zone	15.25 m x 7.5 m	10	50%	11 m	2.5 m
$\Sigma = 20$					

Table 4: Sizing of cell grids and allocation of constrained end of site.

Cells	Dimension	Travel path (distance/ meter)	Walking Time (sec)
Neutral Zone			
1	11 x 7.5	58.00	41.76
2	5.2 x 7.5	37.66	27.11
3	15.3 x 7.5	34.75	25.02
4	15.3 x 7.5	34.75	25.02
5	15.3 x 7.5	36.50	26.28
6	15.3 x 7.5	45.60	32.83
7	15.3 x 7.5	54.90	39.53
8	15.3 x 7.5	70.20	50.54
9	15.3 x 7.5	54.40	39.17
10	15.3 x 7.5	39.35	28.33
11	15.3 x 7.5	36.35	26.17
12	15.3 x 7.5	31.85	22.93
13	15.3 x 7.5	28.10	20.23
14	15.3 x 7.5	22.85	16.45
15	15.3 x 7.5	26.60	19.15
16	15.3 x 7.5	37.10	26.71
17	15.3 x 6.8	42.35	30.49
18	15.3 x 2.5	47.40	34.13
19	15.3 x 2.5	35.30	25.42
20	15.3 x 2.5	18.30	13.18
21	15.3 x 2.5	3.00	2.16
22	15.3 x 2.5	3.00	2.16
23	15.3 x 2.5	18.30	13.18
24	5.2 x 2.5	33.60	24.19
25	11 x 2.5	13.50	9.72
26	11 x 6.8	16.25	11.70
27	11 x 7.5	14.00	10.08
28	11 x 7.5	Not Available	-----
29	11 x 7.5	Not Available	-----
30	11 x 7.5	12.25	8.82
31	11 x 7.5	20.75	14.94
32	11 x 7.5	27.76	19.99
33	11 x 7.5	23.00	16.56
34	11 x 7.5	30.55	21.99

Table 5.a: Travel Paths and Walking distance between Cells and Zones (Neutral Zone).

Cells	Dimension	Travel path (distance/ meter)	Walking Time (sec)
Outer Zone			
35	4.4 x 12	20.90	15.05
36	21 x 12	18.80	13.54
37	28.1 x 12	18.80	13.54
38	28.1 x 12	21.80	15.69
39	28.1 x 10.76	11.25	8.10
40	28.1 x 10.76	2.25	1.65
41	14.05 x 10.76	8.80	6.34
42	28.1 x 10.76	4.50	3.24
43	28.1 x 10.76	9.75	7.02
44	28.1 x 1.0	20.05	14.44
45	24.60 x 1.0	9.00	6.48
46	24.40 x 1.0	9.00	6.48
47	4.4 x 1.0	26.10	18.79
48	4.4 x 10.76	22.35	16.09
49	4.4 x 10.76	Not Available	-----
50	4.4 x 10.76	Not Available	-----
51	4.4 x 10.76	13.60	9.79
52	4.4 x 10.76	20.10	14.47

Table 5.b: Travel Paths and Walking distance between Cells and Zones (Outer Zone).

Cells	Dimension	Travel path (distance/ meter)	Walking Time (sec)
Inner Zone			
53	6.6 x 7.6	9.75	7.02
54	10 x 7.6	2.25	1.62
55	18.15 x 7.6	2.25	1.62
56	8.15 x 7.6	5.25	3.78
57	16.3 x 10.9	Not Available	-----
58	16.3 x 7.6	Not Available	-----
59	8.15 x 9.4	4.00	2.88
60	16.3 x 10.9	1.50	1.08
61	16.3 x 10.9	5.25	3.78
62	10 x 10.9	10.50	7.56
63	7.6 x 10.9	18.00	12.96
64	7.6 x 9.4	11.25	8.10
65	7.5 x 7.6	Not Available	-----
66	7.6 x 14.30	7.00	5.04

Table 5.c: Travel Paths and Walking distance between Cells and Zones (Inner Zone).

4.2 OPTIMIZATION AND MODELLING PROCESSES

4.2.1 OPTIMIZATION MODEL

The objective of the optimization process for the site utilization plan is to minimize the walking time from the site facility to the building area. From Table 5, the grid cells with the minimum walking time were identified in each zone and were allocated to site facilities based on the required sizes of the site facilities and the phase of work. As explained in Table 6, four site facilities are required in phase 1 (site organization) of the project.

According to Table 3, all of these site facilities belong to the neutral zone, and in Table 5, cells 21, 22, 25 and 30 have the minimum walking time in comparison with the other cells in the neutral zone. Based on the understanding of the flow of construction activities on construction sites, knowledge of the construction site constraints, sizes of the site facilities, dimensions of the grid cells, and availability of space.

Cell 30 was allocated to security post, cell 21 to site office, cell 22 to water supply, and cell 25 to power supply. In phase 2 (foundation) of the project, new site facilities are required because the nature of work has changed.

The zones of the required site facilities in phase 2 as explained in Table 3 were used to allocate cells to the site facilities as shown in Table 6. The allocation of cells to site facilities required in phase 2 of the project was also based on

the understanding of the flow of construction activities, knowledge of the construction site constraints, sizes of the site facilities, dimensions of the grid cells, and availability of space.

These processes were repeated for phase 3, 4 and 5 of the project. Movable site facilities changed positions with change in work progress; for example, gravel and sand depot occupies cell 42 and 37 in phase 2; but moves to cell 42, 48 and 59 in phase 3. Also, batch plant occupies cell 53 in phase 4, but moves to cell 55 in phase 5. This illustrates the dynamic interactions among site facilities, site spaces and construction works.

The optimization model for the site layout plan was computed at three levels. The first level of computation was done for each of the site facilities using equation 6, the second level was done for the phases of work using equation 7, while the third level was done for the project as a whole using equation 8.

Table 6 shows the computation of the optimization models. In phase 1 of the project, the optimized walking time from the security post to the building area is 11377 seconds, from site office to the building area is 85011 seconds; while it will take workers 6966 and 6269.4 seconds to walk from water supply and power supply to the building area respectively. Z_{p1} represents the optimized walking time for phase 1 and it was computed to be 109623.4 seconds. $Z_{p2} - Z_{p6}$ represent the optimized walking time for phase 2 – 6; while the optimized walking time for the project is represented by Z_{TOTAL} .

Phase	Site Facility (SF)	Allocated Positions of SF			Optimization Model (sec)
		Inner Zone	Outer Zone	Neutral Zone	Z
1.	Security post			Cell 30	11377
	Site office			Cell 21	85011
	Water supply			Cell 22	6966
	Power supply			Cell 25	6269.4
					$Z_{p1}=109623.4$
2.	Security post			Cell 30	16687.44
	Site office			Cell 14	155617
	Water supply			Cell 21	10216.8
	Power supply			Cell 25	9195.12
	Gravel & Sand depot		Cell 42&37		158738.80
	Block depot	Cell 59&61			372913.2
	Workshop			Cell 3	142013.52
	Batch plant	Cell 53&57			127710
	Consultant's office			Cell 15	90579.5
	Sub contractor's office			Cell 13	95687.9
	Material store			Cell 40	15325.2
	Rebar depot	Cell 53& 54			36780.48
	Fabrication yard			Cell 4	372686.16
Formwork depot			Cell 4	372686.16	

Table 6.a: Allocation of Cells to facilities for Optimization (phases 1 and 2).

Phase	Site Facility (SF)	Allocated Positions of SF		Allocated Positions of SF	Optimization Model (sec)
		Inner Zone	Outer Zone		
	EYCP		Cell 35& 36		64044.20
	Delivery area			Cell 32& 33	99131.34
	Waste dump			Cell 10	80400.54
	Toilet & bath			Cell 19	120236.60
	Site accommodation			Cell 17	8653062
					Z _{p2} =10993678.96
3.	Security post			Cell 30	32439.20
	Site office			Cell 21	42724.80
	Water supply			Cell 22& 5	281271.60
	Power supply			Cell 25	19226.16
	Gravel & sand depot		Cell 42, 48&59		542565.40
	Block depot		Cell 61		299073.60
	Workshop			Cell 3	296937.36
	Batch plant		Cell 53,57&61		747684
	Consultant's office			Cell 15	189393.50
	Sub-contractor			Cell 13	20074.80
	Material store			Cell 40	32043.60
	Rebar depot	Cell 54&53			53833.25
	Fabrication yard			Cell 4	12112.48
	Formwork depot			Cell 6	247447.80
	EYCP		Cell 35& 36		282755.1
	Delivery area			Cell 32 &33	262994.88
	Waste dump			Cell 10	168110.22
	Toi &Bath			Cell 19	251403.80
	Site Accommodation			Cell 17	180927.66
					Z _{p3} =3963019.21
4.	Site office			Cell 30	23220
	Security post			Cell 14	10963
	Water supply			Cell 21	11610
	Power supply			Cell 25	10449
	Block depot		Cell 61,67,59&54		638550
	Sand depot		Cell 42& 37		180385
	Workshop			Cell 3	52245
	Batch plant	Cell 53			102931.25
	Consultant's office			Cell 15	217472.50
	Sub-contractor			Cell 13	17515
	Material store			Cell 6	352922.5
	EYCP		Cell 35& 36		153677
	Delivery area			Cell 32& 33	117873.75
	Waste dump			Cell 10	91364.25
	Toilet & Bathroom			Cell 19	136632.50
	Site accommodation			Cell 17	98330.25
					Z _{p4} =2186141
5.	Site office			Cell 34	576797.70
	Security post			Cell 30	46269.72
	Water supply		Cell 37		177577.10
	Power supply			Cell 25	25495.56
	Gravel & Sand depot			Cell 31	391878.20
	Block depot			Cell 32	1175628.60
	Batch plant	Cell 55			124777.80
	Toilet & bathroom			Cell 1	547682.40
					Z _{p5} =3056106.72
6.	Security post			Cell 30	10619.28
	EYCP			Cell 31& 32	105139.30
					Z _{p6} =115758.58
					Z _{TOTAL} =20424327.87

* EYCP = Equipment Yard and Car Park

Table 6.b: Allocation of Cells to facilities for Optimization (phases 3 to 6).

4.2.2 SITE LAYOUT MODELLING

The optimized site layout plans prepared in Table 6 were developed into SLMs using BIM tools. This was done so as to make the site layout plans to be illustrative and functional. The SLMs were developed on Autodesk Revit 2010 version.

The modelling process was done according to the site utilization plans presented in Table 6. Figure 4 shows a number of different SLM for different work phases as the site

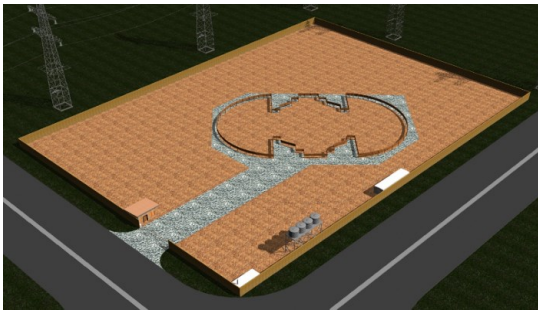
and nature of work changes.

The work phases were modelled in 4-different views of north, east, west and south. The modelling process followed the principles of Petri-net based simulation.

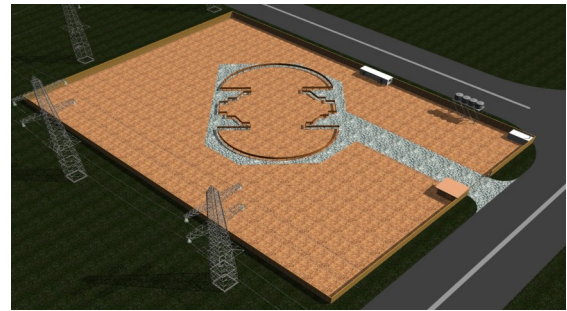
The site space, site facilities and nature of work were modelled in static form in each phase of work. The transitions of the work and site facilities were modelled in dynamic form by modelling the whole work scenarios as portrayed in phase 1- 6.

Phase 1: Site organization

North view



East view



West view



South view



Phase 2: Foundation

North view



East view



West view



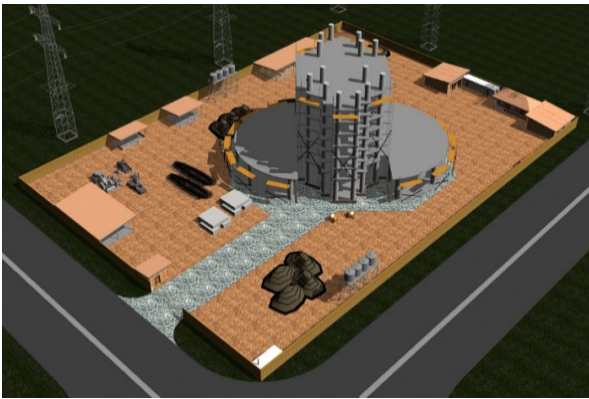
South view



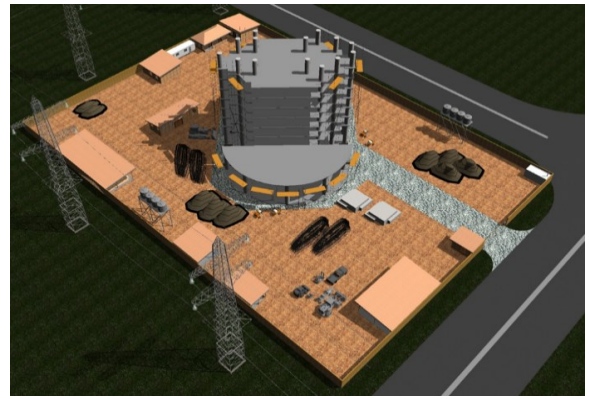
Figure 4.a: SLMs (phases 1 and 2).

Phase 3: Building Structure

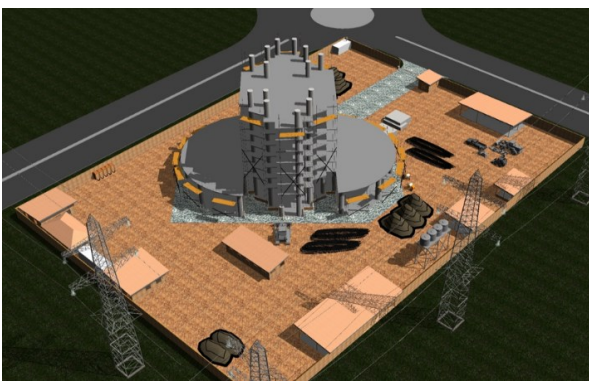
North view



East view



West view



South view

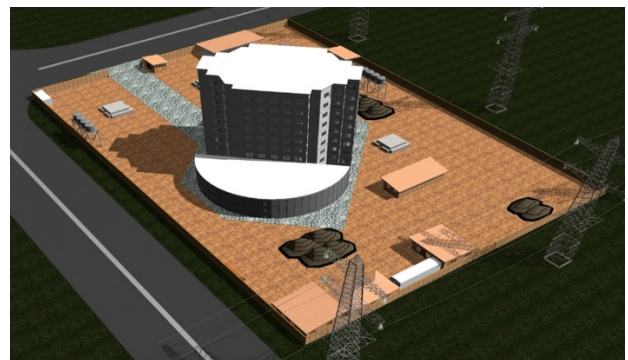


Phase 4: Building Envelope

North view



East view



West view



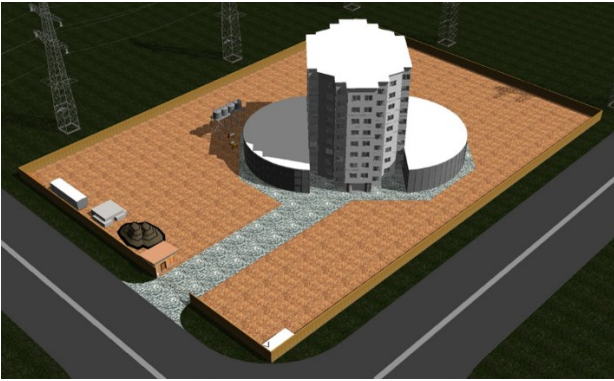
South view



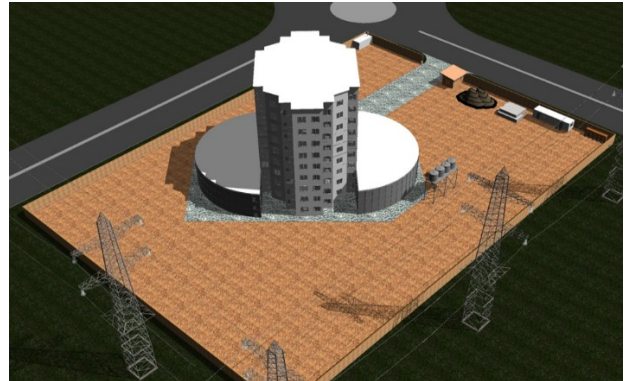
Figure 4.b: SLMs (phases 3 and 4).

Phase 5: External Works

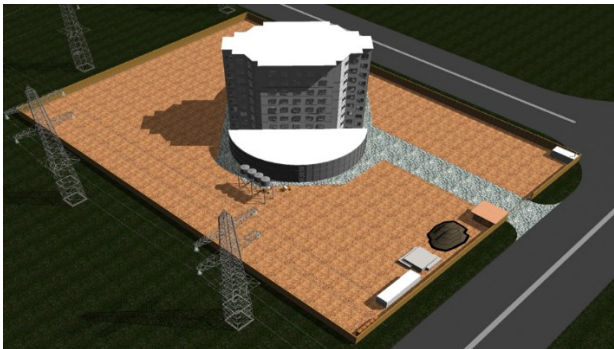
North view



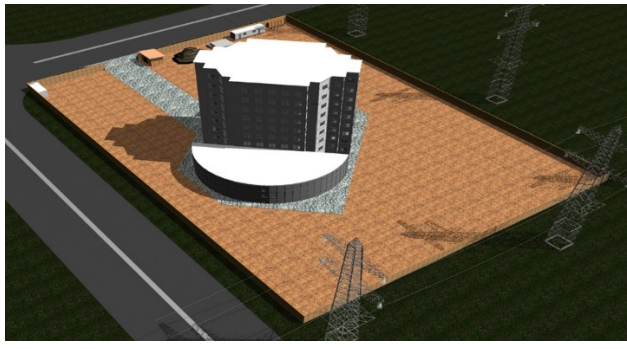
East view



West view



South view



Phase 6: Inspection and Handing over

North view



East view



West view



South view

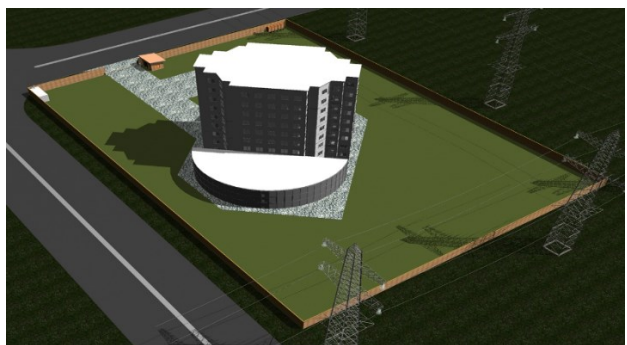


Figure 4.c: SLMs (phases 5 and 6).

5. CONCLUSION

The example in this paper implies that construction site layout modelling through BIM tools and construction methods integration is an all-round illustrative and practical system of developing site layout models for construction projects.

It demonstrates that site layout model is expedient and essential for setting up and managing construction sites. The site layout modelling system proposed in this paper can be adopted for BIM-based site planning that seeks to be in sync with a particular construction methods.

Nevertheless, the system is limited considering that it did not consider the location and utilization dynamics of construction equipment such as tower crane. The system approached the modelling of construction sites utilization in one piece. Another approach would have been to model the utilization of site facilities and equipment proposed in construction method section by section.

However, the system proposed in this paper is an improvement on the existing system, and it has substantiated the need for incorporating the proposed construction methods for projects in BIM-based modelling of construction site utilization.

The proposed site layout modelling system reinforces the need for and possibility of re-thinking the processes of planning, constructing and managing construction projects.

6. REFERENCES

- [1] Approved code of practice (2013). L24: Workplace health, safety and welfare regulations. Retrieved: [29/07/18] <http://www.hse.gov.uk/contact/fags/roomspace.htm>.
- [2] Astour, H. and Franz, V. (2014). BIM and simulation based site layout planning. *Computing in civil and building engineering*, ASCE 291-298.
- [3] Autodesk (2010). 4D simulation and construction planning. Retrieved: [9/05/17] <http://auworkshop.autodesk.com/library/bim-curriculum-construction/4d-simulation-and-construction-planning>.
- [4] Chau, K. W., & Anson, M. (2002). A knowledge-based system for construction site level facilities layout. In *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems* (pp. 393-402). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [5] Cheng, J.C.P and Kumar, S.S. (2014). A BIM based construction site layout framework considering actual travel path. The 31st international symposium on automation and robotics in construction and mining (ISARC 2014).
- [6] Cheng, M. Y., & O'Connor, J. T. (1996). ArcSite: Enhanced GIS for construction site layout. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(4), 329-336.
- [7] Cheng, M. Y., & Yang, S. C. (2001). GIS-based cost estimates integrating with material layout planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(4), 291-299.
- [8] Deshpande, A. and Whitman, J. (2014). Evaluation of the use of BIM tools for construction site utilization planning. *Associated schools of construction, 50th Annual International Conference proceedings*.
- [9] Elbeltagi, E., Hegazy, T., & Eldosouky, A. (2004). Dynamic layout of construction temporary facilities considering safety. *Journal of construction engineering and management*, 130(4), 534-541.
- [10] El-Rayes, K. and Said, H. (2009). Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming. *Journal of computing in civil engineering*, 23(2): 119-127.
- [11] Gholizadeh, R., Amiri, G. G., & Mohebi, B. (2010). An alternative approach to a harmony search algorithm for a construction site layout problem. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(12), 1560-1571.
- [12] Godfard, J. and Abdulkadir, G. (2012). Integrating BIM and planning software for health and safety site induction.
- [13] Hegazy, T., & Kassab, M. (2003). Resource optimization using combined simulation and genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(6), 698-705.
- [14] Illingworth, J. (1993). *Construction methods and planning*. EN, Spon.
- [15] Irizarry, J. and Karan, E. P. (2012). Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration. *ITCON*, 17:351-366.
- [16] Jo, J. H., & Gero, J. S. (1998). Space layout planning using an evolutionary approach. *Artificial Intelligence in Engineering*, 12(3), 149-162.
- [17] Kai-Yun, H. and I-Chen, W. (2011). Dynamic simulation and visualization for site layout planning. *National Kaohsiung University of Applied Sciences, Kaohsiung, Taiwan*.
- [18] Krepp, S. Jahr, K. Bigoritina, S. Bugler, M. and Borrmann, A. (2016). BIMsite: towards BIM-based generation and evaluation of realization variants comprising construction methods, site layouts and schedules. *Computational Modelling and Simulation*.
- [19] Lam, K. C., Ning, X., & Lam, M. C. K. (2009). Conjoining MMAS to GA to solve construction site layout planning problem. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(10), 1049-1057.
- [20] Liu, X., Lao, C., Li, X., Liu, Y., & Chen, Y. (2012). An integrated approach of remote sensing, GIS and swarm intelligence for zoning protected ecological areas. *Landscape Ecology*, 27(3), 447-463.
- [21] Ning, X., Lam, K. C., & Lam, M. C. K. (2010). Dynamic construction site layout planning using max-min ant system. *Automation in Construction*, 19(1), 55-65.
- [22] Reference (2016). What is the average human walking speed? Retrieved: [9/05/17] <https://www.reference.com/health/average-human-walking-speed>.
- [23] Sadehpour, F. and Andayesh, M. (2015). The constructs of site layout modelling: an overview. *Canadian journal of civil engineering*, 42:199-212.
- [24] Said, H. M. M. (2010). Optimizing site layout and material logistics planning during the construction of critical infrastructure projects. *University of Illinois at Urbana-Champaign*.
- [25] Sulankivi, K. Makela, T., and Kiviniemi, M. (2009). BIM-based site layout and safety planning. VTT Symposium, Research Gate. Retrieved: [9/05/17] https://www.researchgate.net/publication/38289116_BIM-based_Site_Layout_and_Safety_Planning?enrichId=rgreq-3886a5412d8ee126488e87280b9a091d-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzM4Mjg5MTE2O0FT0jEwMzgxNTQ0OTY3NzgyOUAxNDAXNzYyOTQwNTEz&el=1_x_2.
- [26] Thomas, H.R. Maloney, W.F. Homer, R.M.W. Smith, G.R. Handa, V.K. and Sanders, S.R. (1990). Modelling construction labour productivity. *Journal of construction engineering and management*, 116(4):705-726.
- [27] Tommelein, I. D., Levitt, R. E., & Hayes-Roth, B. (1992). Site-layout modeling: how can artificial intelligence help?. *Journal of construction engineering and management*, 118(3), 594-611.
- [28] Yahya, M., & Saka, M. P. (2014). Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights. *Automation in construction*, 38, 14-29.
- [29] Yeh, J. C. (1995) Construction site layout using annealed neural network. *Journal of computing in civil engineering ASCE*, 9(3), 201-8.
- [30] Zhang, H., & Li, H. (2004). Simulation-based optimization for dynamic resource allocation. *Automation in Construction*, 13(3), 409-420.
- [31] Zhang, J. P., & Hu, Z. Z. (2011). BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in construction*, 20(2), 155-166.

[32] Zolfagharian, S. and Irizarry, J. (2014). Current trends in construction site layout planning. Construction Research Congress, ASCE 1723.

[33] Zouein, P. P. and Tommelein, I. D. (1999) Dynamic layout planning using a hybrid incremental solution method. Journal of Construction Engineering and Management ASCE,125(6), 400–8.

[34] Autodesk Education (2018). Autodesk Revit 2010 Version. Retrieved: [29/07/18] <http://www.autodesk.com/education/about-autodesk-education>.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.



Towards sustainable housing: ABS industrialized passive buildings

Hacia la vivienda sostenible: los edificios industrializados pasivos ABS

PEDRO GARCÍA SANMIGUEL

MSc Energy Efficiency, Saint-Gobain Habitat, Address: Doctor Santero, 28039, Madrid (Spain). pedrogarciasanmiguel@gmail.com

JULIÁN GARCÍA MUÑOZ

Universidad Politécnica de Madrid, Address: Av Juan de Herrera, 6. 28010, Madrid (Spain). julian.garciam@upm.es

- ◊ Nowadays building sector is responsible for 35% of the total amount of GHG emissions to the atmosphere.
- ◊ Current energy efficiency is not enough to fight against the growth of demand derivative of world's population growth.
- ◊ The American Building System combines the prefabrication of houses with high efficiency materials what allows to reach low energetic demands.

Promoting innovation in the construction sector is one of the cornerstones of sustainability, since it is one of the main responsible for GHG emissions. This paper provides a proposal for sustainable housing: the industrialized passive home of American Building System Company (ABS) and its suitability to be incorporated into the construction system. Following the comparative analysis of the energy demands of this model versus an equivalent house which follows the regulations of the CTE. These data will be simulated by the SG SAVE software that perform the energy simulation of the both systems, based on the transmittance values of enclosures and glass and the final tightness of the homes. From these results about the savings in energy consumption, an economic analysis has been carried out and an assessment of the amortization period of the proposed house facing the other. In addition, through the calculation coefficients of equivalent CO₂ emissions from the Spanish Ministry of Industry, the reduction of greenhouse gas emissions associated with energy consumption during the use stage has been obtained. Finally, for a standardize comfort conditions, the modelling and the assessment allow us to conclude that the deployment of ABS house in comparison with the conventional Spanish system supposes a reduction of 60% in energy demand, a 90% in CO₂ emissions, and an amortization period of 12 years. With all these evidences we should start to think why this system has not been already integrated in the Spanish construction sector.

Sustainability; Passivhaus; LCA; Global warming; climate change; Energy demand; Energy efficiency; ABS

- ◊ El sector de la edificación es responsable del 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- ◊ La eficiencia energética aplicada en el sector de la construcción no basta para combatir el incremento de demanda derivado del crecimiento de población.
- ◊ El sistema de construcción American Building System combina la prefabricación de la vivienda con el uso de materiales de alta eficiencia, alcanzando bajas demandas energéticas.

Fomentar la innovación en el sector de la construcción es una de las piedras angulares de la sostenibilidad, pues la construcción es uno de los sectores responsables de las emisiones de GEI. Este artículo busca ofrecer una propuesta para la construcción sostenible: la vivienda pasiva industrializada de la empresa American Building System (ABS) y su idoneidad para ser incorporada como sistema constructivo tras el análisis comparativo de sus demandas energéticas frente a los de una vivienda equivalente que sigue la normativa del Código Técnico de la Edificación. Estos datos han sido obtenidos a partir del modelado energético de la vivienda a través del software SG SAVE, en función de los valores de transmitancia de cerramientos y vidrios y la estanqueidad final de la vivienda. A partir de estos resultados se ha realizado un análisis económico y se ha calculado el periodo de amortización de la vivienda propuesta frente a la del sistema convencional. Por otro lado, mediante los coeficientes de cálculo de emisiones del Ministerio de Industria Español, ha sido posible estimar la reducción de emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía durante la etapa de uso como consecuencia de la reducción de demanda energética entre ambas viviendas. Finalmente, para unas condiciones de confort normalizadas, la modelización energética y el análisis de resultados nos permiten concluir que la vivienda ABS en comparación con la vivienda del sistema convencional español nos permite reducir la demanda energética en hasta un 60%, las emisiones de CO₂ en hasta un 90%, con un periodo de amortización de 12 años. Con todas estas evidencias de mejora se plantea una reflexión final que es la de por qué este tipo de sistemas constructivos no están todavía integrados en el modelo constructivo español.

Sostenibilidad; Passivhaus; ACV, Calentamiento global, Cambio climático, Demanda energética, Eficiencia energética; ABS

Abreviaturas:

ABS: American Building System

CTE : Código Técnico de la Edificación

GEI: Gases de Efecto Invernadero

DAP: Declaración Ambiental de Producto

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

kWh: Kilovatio hora

UE: Unión Europea

COP 21: Conference des Parties de Paris.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO GLOBAL

A día de hoy, uno de los problemas fundamentales a los que se enfrenta el ser humano es el crecimiento de población en el mundo y, en consecuencia, a una serie de efectos que, también a nivel mundial, suponen un aumento en cuanto a demanda de recursos, energía, alimentos o materias primas [1].

Si hablamos en particular del sector de la construcción, este aumento de la población se traduce en un crecimiento desmedido de la superficie total edificada y en un pico récord de demanda energética, requerida para su abastecimiento [2].

En consecuencia, tanto por rehabilitar o construir nuevos edificios, como por su uso, las emisiones de CO₂ asociadas al sector se incrementan sin control alcanzando máximos históricos. El indicador clave en el que se apoya este récord de emisiones es el aumento de la superficie edificada, siendo la estimación de su crecimiento de 230.000 millones de metros cuadrados en los próximos 40 años [3].

Este crecimiento conlleva numerosas y severas consecuencias, pues las mejoras que se han desarrollado en materia de eficiencia energética no han sido suficientes para evitar el aumento de emisiones asociadas al uso de los edificios, ya que crece actualmente a una tasa anual del 1% superior a la cantidad de emisiones que es posible reducir aplicando medidas de eficiencia energética o fuentes de energía renovables. Por este motivo se le atribuyen a este sector más de 4 millones de muertes al año relacionadas con la contaminación del aire en todo el mundo [4].

Ante este peligro inminente existen soluciones técnicas completamente viables, las cuales es menester acompañar de políticas globales y colaboraciones público-privadas que permitan implementarlas de forma gradual y rápida en todo tipo de países [5], pero que lo hagan aún más rápidamente en aquellos que están desarrollándose actualmente dado su potencial de contaminación derivado de la necesidad de desarrollo [6].

1.2 RESPUESTA LEGISLATIVA Y NORMATIVA

Son muy numerosos los ejemplos realizados hasta la fecha de conferencias, cumbres y convenciones internacionales en las que se tratan temas relacionados con el cambio climático provocado por la acción humana en el planeta para finalmente tratar de buscar medidas que lo ralenticen e incluso lo reviertan. De entre todas ellas, aquellas cuya influencia ha marcado nuestra sociedad han sido:

- ♦ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992).
- ♦ La Cumbre del Clima de Kioto (1996).
- ♦ La Cumbre del Clima de París (2015).

A la par que estas se han ido desarrollando varias normativas importantes han sido redactadas y aprobadas con el objetivo de llevar a efecto los objetivos medioambientales resultado de dichas cumbres.

Entre ese gran número que cada día crece, la directiva más famosa es la Directiva 2010/21/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética, pues en ella se fomenta esta eficiencia de los edificios de la UE teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades de cada localidad, así como exigencias ambientales interiores y la rentabilidad calculada como el coste frente a la eficiencia del edificio. Esta norma es la responsable de proponer medidas que permitan conseguir el objetivo 20/20/20, partiendo de la premisa de que el sector de la edificación es responsable del 40% del total de las emisiones de GEI de la UE [7].

A su vez, y de forma paralela a estas normativas y cumbres, diferentes grupos de expertos alrededor del mundo realizan estudios que, con una base científica a partir de datos numéricos y mediciones, demuestran los efectos del cambio climático, cómo afecta a este cambio cada uno de los principales sectores que más impacto ejercen y también permiten comprobar si todas las medidas que se plantean en estas normativas y cumbres tienen algún efecto real o no.

Un dato revelador lo arroja el informe "Global Status Report 2017", desarrollado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) para la Alianza Global de Edificios y Construcción (GABC), al demostrar que la intensidad energética por metro cuadrado necesita reducirse al menos un 30% para el año 2030 si se desean alcanzar las metas definidas en la COP21 de París, tal y como se muestra en la gráfica 1.

De esta forma, a pesar de mejorar la intensidad energética por metro cuadrado de los edificios con las medidas de eficiencia energética actuales (figura 1), no será posible disminuir las emisiones asociadas a estos, pues las mejoras se ven compensadas con la creación de más y más metros cuadrados de edificaciones derivados del crecimiento de la población mundial y su demanda de vivienda.

Frente a este panorama es necesario explotar con mayor intensidad el potencial de ahorro del que disponen los edificios a través de políticas efectivas en materia medioambiental, inversiones en edificios sostenibles y mediante el cambio de mentalidad de la población para hacerla partícipe del proceso de creación de un parque de viviendas sostenible.

En lo relativo a la introducción de la sostenibilidad en el sector de la construcción, aparece un nuevo concepto prioritario a implantar durante la próxima década, con la idea de que consiga un aumento de la eficiencia energética y sostenibilidad de los edificios. Este concepto es el de Edificio de Consumo Casi Nulo (near Zero Emission Building por sus siglas en inglés (nZEB)) [8].

Este deberá ser introducido en todos los países del mundo, en los desarrollados para hacer frente a la nueva edificación, pero enfocado todavía más en la renovación de sus parques

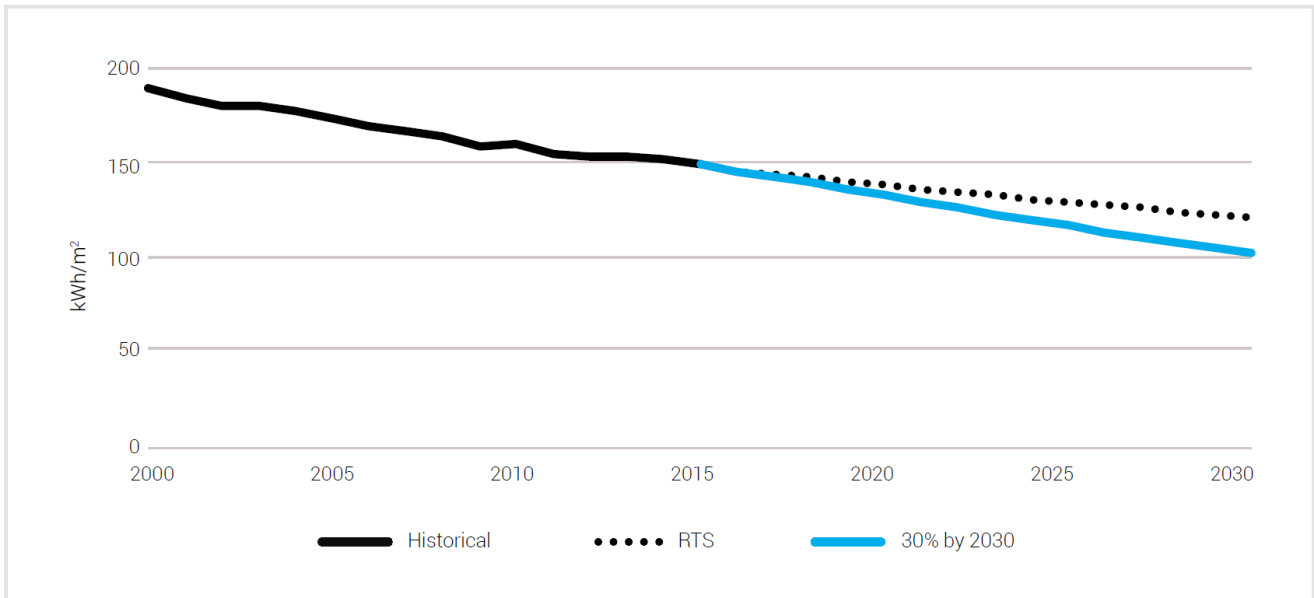


Figura 1: Uso de energía final por metro cuadrado edificado. (EJ = exajoules; kWh/m² = kilowatt-hours per square metre; RTS = Reference Technology Scenario). Fuente: GLOBAL STATUS REPORT. 2017. UN Environment. (IEA (2017), Energy Technology Perspectives 2017, IEA/OECD, Paris www.iea.org/etp/).

de edificios; y en aquellos países en vías de desarrollo. En estos últimos la implantación deberá ser urgente, pues dichos países van a experimentar en las próximas décadas un crecimiento demográfico considerable derivado de su desarrollo económico emergente.

De no ser así se repetirá el error cometido en los países ya desarrollados, al permitir que los países todavía en proceso, recurran a tecnología anticuada para su desarrollo industrial y económico que les llevaría a generar edificios insostenibles, aumentando el efecto de este sector con respecto al calentamiento global.

1.3 CONTEXTO ESPAÑOL

En el caso de España, el sector de la construcción ha sido desde sus inicios poco progresista y aún menos sostenible. El lobby del ladrillo ha generado grandes riquezas y con ellas ha contribuido a la grave crisis que sufre el país desde hace ya casi diez años [9]. Según el censo del Instituto Nacional de Estadística del año 2011, en España existen un total de 25.208.622 viviendas.

La construcción del parque de viviendas español con respecto a las diferentes normativas nacionales sobre eficiencia energética en edificios marca tres grupos bien diferenciados (figura 2):

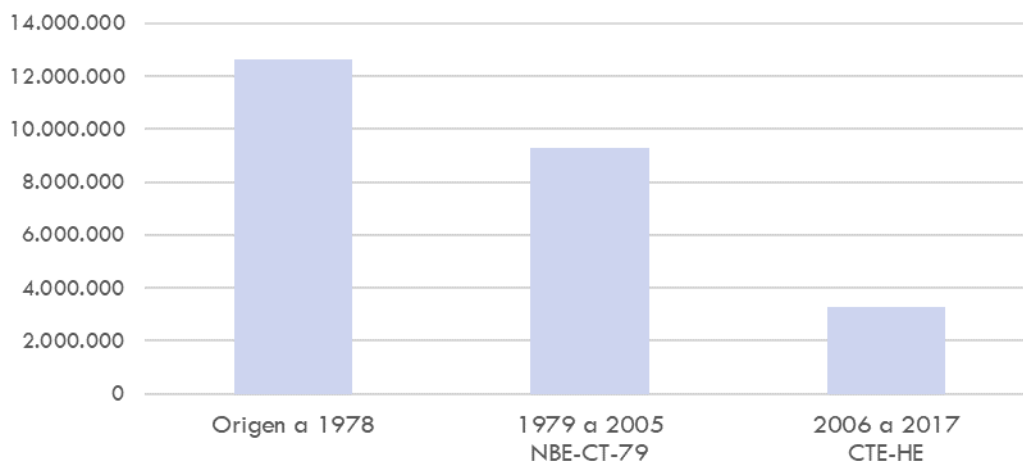


Figura 2: nº viviendas edificadas en España hasta 2011. Elaboración propia. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Como puede apreciarse en la anterior gráfica, solo un pequeño porcentaje de las viviendas españolas ha sido construido teniendo en consideración criterios de eficiencia energética y confort, pues estos fueron incluidos a partir de

2006 en el Código Técnico de la Edificación.

A pesar de esto, es necesario analizar y comparar el comportamiento energético que poseen las viviendas de

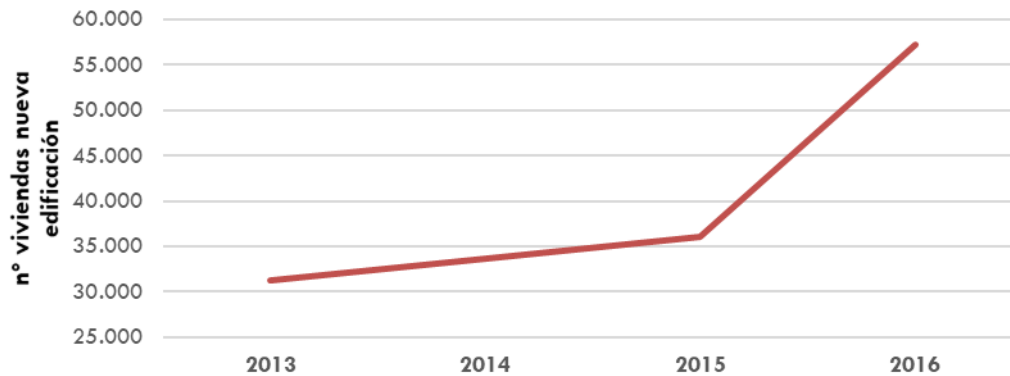


Figura 3: nº viviendas construidas de nueva edificación en España, años 2013 a 2016. Elaboración propia. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

nueva edificación en el país ya que desde el año 2013 la tendencia de obra nueva en el país vuelve a ser creciente tal y como se muestra en la figura 3.

En este escenario, dado que pese a las medidas de eficiencia energética dispuestas en la normativa para la nueva edificación no son suficientes para reducir el impacto ambiental del sector, es una necesidad el presentar un sistema constructivo sostenible alternativo, que beneficie tanto al medioambiente como al usuario final.

Con este fin, se establece en el presente artículo el objetivo de comparar las demandas energéticas que la vivienda pasiva de American Building System ofrece con respecto a las de una construcción equivalente que siga los estándares del Código Técnico de la Edificación, para esclarecer si es posible y viable la implantación de esta tecnología en el sistema constructivo español y qué ventajas nos ofrece frente al sistema actual.

Si tenemos en cuenta los efectos ambientales de este sector a escala mundial y las necesidades constructivas actuales, queda claro que ya no es posible ejecutar un sistema sin valorar su impacto medioambiental asociado a todo su ciclo de vida y sin que esto suponga un elevado coste económico o ponga en riesgo las condiciones de confort de los usuarios [10].

Para la realización de edificios sostenibles, junto a las normativas internacionales y nacionales hay que considerar un tercer factor que promueve la edificación sostenible y que son los sistemas de certificación medioambiental [11]. Los más desarrollados son:

- ♦ BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology).
- ♦ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Este tipo de sistemas buscan el desarrollo de edificios sostenibles, sin embargo, no sugieren soluciones específicas para lograr este objetivo, motivo por el cual han aparecido los estándares de construcción.

Los estándares de construcción promueven acciones específicas con el objetivo de reducir el impacto ambiental del edificio mediante la limitación de su demanda energética, sus emisiones de la fase de uso, o los consumos de energía no

renovable. De entre todos los estándares de construcción destaca el Estándar Passivhaus [12] debido a su antigüedad e implantación por todo el mundo, y que se basa en el control y desarrollo de los siguientes aspectos:

- ♦ Aislamiento térmico.
- ♦ Inercia térmica.
- ♦ Ausencia de puentes térmicos.
- ♦ Ventanas de alta eficiencia.
- ♦ Hermeticidad.
- ♦ Ventilación controlada con recuperador de calor.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En conclusión, conocidos los antecedentes y efectos del sector de la construcción a nivel mundial y local, y los problemas que suponen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas a los edificios, y dado que tendemos a construir y rehabilitar cada año mayor número de viviendas, y que su impacto supone entre el 30 y el 40% de las emisiones de GEI en el mundo [13], este artículo plantea la instauración de un sistema constructivo sostenible a través de la vivienda de ABS, que reduzca el impacto en todo el ciclo de vida del edificio sin poner en riesgo las condiciones de confort del usuario en su vivienda ni reclamando un precio desproporcionado al usuario, como sustituto al sistema convencional constructivo español.

Para ello se modelizarán la vivienda prototipo ABS mediante el software SG SAVE gracias al cual, asignando en cada caso los valores de transmitancia de cerramientos y vidrios y la estanqueidad final de la vivienda, podremos comparar los valores de demanda obtenidos con los del edificio de referencia equivalente de la normativa española (CTE) [14].

De esta manera, dado que solo variarán los materiales que componen los cerramientos y la estanqueidad final, podremos obtener un contraste en las demandas energéticas que demuestre la verdadera eficacia de los materiales que utiliza la vivienda de American Building System frente a lo que a día de hoy es considerado como el valor de referencia para nueva construcción.

1.4 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo fundamental del presente artículo es presentar la comparación de los resultados del cálculo de balance energético de la vivienda unifamiliar pasiva de American Building System respecto a los de una vivienda con idéntico diseño geométrico y entorno, pero ejecutada conforme a los requisitos de CTE 2013.

El fin último es el de demostrar la calidad de los materiales y sistemas constructivos aplicados en el prototipo de vivienda ABS al compararlos con los utilizados en la actualidad en España, junto con todos los beneficios que un mejor comportamiento energético conlleva.

El alcance del artículo se limita a la modelización energética de dos viviendas con diferentes sistemas constructivos (ABS y CTE) y similares características geométricas y de entorno, durante la etapa de uso del ciclo de vida (UNE 14040:2006) variando su localización por diferentes zonas climáticas del territorio español definidas por el Código Técnico de la Edificación para demostrar la efectividad del sistema ABS independientemente de la severidad del lugar donde se sitúe el proyecto.

Además, se establecen como objetivos secundarios:

- ♦ La divulgación de un sistema constructivo sostenible que reduce su impacto medioambiental en su ciclo de vida con respecto a la vivienda ejecutada en España.
- ♦ La demostración de que la vivienda ABS con un diseño genérico permite, independientemente de la zona climática en la que se encuentre, cumplir los estándares exigidos en España en lo referido a demanda energética y, solo con pequeñas modificaciones en los vidrios, llegaría a alcanzar el estándar Passivhaus (también en lo referido a demanda energética).

2. MATERIALES Y/O MÉTODOS

2.1 METODOLOGÍA

Una vez definido el objetivo, la metodología seguida para su obtención ha consistido en modelar la vivienda ABS en el software de cálculo SG SAVE. Para ello la propia empresa ha proporcionado todos aquellos datos relativos a la composición de los cerramientos de la vivienda, a ensayos realizados in situ que han permitido calibrar el modelo introducido, al tipo de instalaciones instaladas de manera que se incremente la eficiencia energética del edificio, y al precio medio de adquisición de la vivienda, necesario para el análisis económico posterior.

Obtenidos los resultados de la simulación se ha procedido a comparar la demanda obtenida en cada una de las zonas climáticas definidas por la normativa española [15], con la vivienda ABS frente a la equivalente con los estándares del CTE y, a partir de este resultado, sacar un valor medio para cada caso.

Con este valor medio se han planteado dos supuestos de

estudio en lo relativo a equipos e instalaciones. En el primero de ellos se ha estimado el mismo equipo para ambas viviendas, siguiendo datos de equipos de climatización convencionales. Para el segundo se han mantenido estos valores convencionales para la vivienda del CTE, mientras que para la de ABS se han introducido valores de rendimiento de los equipos acordes a los sistemas de climatización aplicados en la realidad, sistemas de aerogeotermia conectados a un sistema de ventilación mecánica con un intercambiador de calor.

En ambos casos se estudia el ahorro económico a partir del ahorro energético resultado de la simulación y los precios medios de la energía según el mix energético español. A su vez, dicho ahorro se traduce en emisiones de CO₂ asociadas al consumo de cada vivienda y caso, pudiendo determinar la comparación de ambas viviendas según este indicador. Por último, se estima con los ahorros económicos obtenidos de la vivienda ABS frente a la CTE el periodo de amortización de la diferencia económica entre ambas viviendas a partir del precio proporcionado por ABS y el de la vivienda convencional obtenido en base a diferentes estudios de mercado de diversas inmobiliarias.

Con este triple enfoque (ahorro energético, económico y emisiones de CO₂) se demuestra el objetivo del presente artículo, al demostrar que todos estos indicadores obtienen mejores valores para la vivienda ABS, tanto para el caso de que los equipos de climatización sean idénticos en ambas viviendas como en el de aplicar los equipos reales.

2.2 EL SOFTWARE: SG SAVE

En lo referente al sector de la edificación, uno de los mayores consumidores de energía, la simulación energética de los sistemas y edificios se ha convertido en una necesidad básica a la hora de proyectar [16]. SG SAVE permite verificar los requisitos del Código Técnico de la Edificación al diseñar en SketchUp, además de realizar la calificación energética del edificio a través de OpenStudio con EnergyPlus.

EnergyPlus es el programa de simulación térmica de los edificios más avanzado que existe. Ha sido desarrollado por DOE (Departamento de Energía de Estados Unidos) y con él se pueden hacer estudios de la demanda y el consumo energético de los edificios [17].

El programa SG SAVE ha sido aprobado por el Ministerio de Transición Ecológica como herramienta válida también para la certificación energética de edificios en España. El software, al igual que OpenStudio y SketchUp, es de libre acceso y puede encontrarse junto con el manual en la web de Saint-Gobain España.

2.3 DATOS PARA LA SIMULACIÓN

Para simular los edificios se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- ♦ Transmitancia de los cerramientos.
- ♦ Transmitancia de los vidrios.

- ◆ Permeabilidad de los huecos.
- ◆ Tasa de Ventilación.

Para la vivienda ABS los valores para estos parámetros han sido proporcionados por la propia empresa, en base al diseño realizado para una vivienda prototipo situada en Azuqueca de Henares, compuestos como se muestra en la Figura 4 (a) y (b).

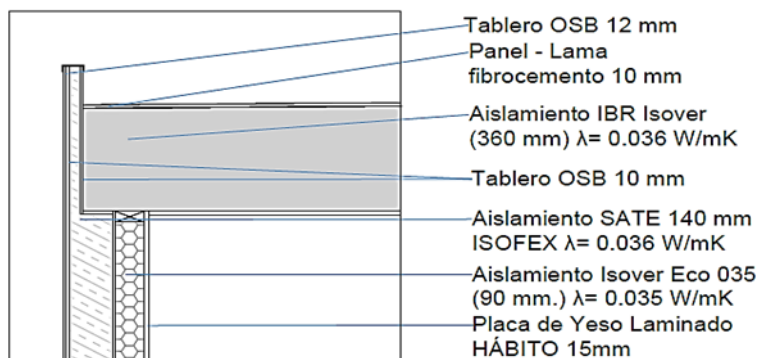


Figura 4 (a): Encuentro cubierta – fachada vivienda ABS.

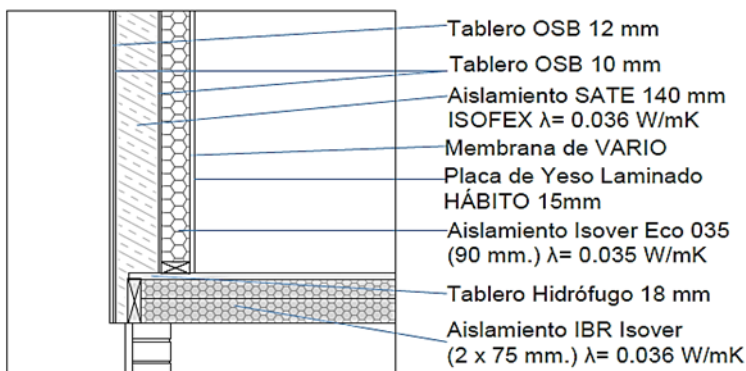


Figura 4 (b): Encuentro fachada – solera vivienda ABS.

relativas a transmitancia y control solar del hueco, las pérdidas por transmisión de calor e infiltraciones.

A este conjunto de materiales de altas prestaciones, se ha añadido un sistema de ventilación mecánica, estudiando los caudales de renovación para cada estación del año. Como valor más restrictivo, hemos tomado para el cálculo el régimen de verano que, gracias a la buena hermeticidad alcanzada por la vivienda, no supera las 0,32 renovaciones a la hora [19]. Este último valor va a ser determinante en el comportamiento energético global de la vivienda pues elimina todas las infiltraciones indeseadas y por ende las pérdidas energéticas, de esta manera tendremos que climatizar solo aquel volumen de aire que ocupa la vivienda [20].

En lo relativo a la vivienda equivalente que sigue los estándares del CTE, los valores que utiliza el software de modelización son los definidos por dicha normativa en función de la zona climática en la que se sitúe el proyecto.

No ha sido necesario simular esta vivienda, pues el programa,

Los cerramientos de la envolvente han alcanzado valores satisfactoriamente bajos de transmitancia térmica gracias a las soluciones de aislamiento de la marca Saint-Gobain Isover [18].

Por otra parte, las ventanas instaladas son un modelo certificado directamente por el Passivhaus Institute, con lo que se satisfacen las condiciones de los huecos de forma directa

en función del diseño geométrico, orientación y otros parámetros introducidos, genera una vivienda similar en cuanto a dimensiones y zona climática, pero sustituye los valores de transmitancia de los cerramientos y vidrios, por los establecidos por el CTE para dicha zona climática [21].

Es de esta manera como obtiene la calificación energética del edificio.

A modo de resumen, se dispone en la Tabla 1 la comparación entre los diferentes valores utilizados para la comparación del comportamiento energético de cada una de las viviendas.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenidos los informes de la simulación respectiva a la vivienda ABS y su equivalente del CTE, los resultados finales de demanda de calefacción y refrigeración para cada caso y zona climática estudiada se muestran en la Tabla 2:

A la luz de estos resultados, se demuestra la eficacia del

Propiedades	Vivienda CTE					Vivienda ABS
	A4	B4	C4	D3	E1	
Transmitancia muros (W/m ² K)	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57	0,146
Transmitancia cubierta (W/m ² K)	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,142
Transmitancia suelo (W/m ² K)	0,53	0,52	0,5	0,49	0,48	0,314
Transmitancia vidrios (W/m ² K)	5,7	4,9	3,9	3,5	3,1	0,6
Permeabilidad huecos (m ³ /h·m ²)	50	50	27	27	27	3
Tasa de ventilación (Renov/h)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,32

Tabla 1: Resumen de propiedades de modelización. Elaboración propia.

Zona climática	Vivienda CTE 2013		Vivienda ABS	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
A4	15	20	2,3	18
B4	15	20	4,9	17,4
C4	32,5	20	12,1	17,9
D3	52	15	20,8	13
E1	77,5	15	29,7	4,4
Promedio	38,4	18	13,96	14,14
TOTAL	56,41		28,10	
Diferencia			28,31	

Tabla 2: Resultados de demanda energética obtenidos por zona climática y vivienda. Elaboración propia.

sistema de construcción pasiva ABS, al conseguir menores demandas energéticas para la climatización que la vivienda modelizada bajo el estándar del CTE de 2013.

Más en detalle, en lo que a refrigeración se refiere, se produce una reducción de la demanda energética de 3,86 kWh/m²año (21% menor) con respecto a los resultados del edificio de referencia del CTE. Esta gran diferencia es debida principalmente a la hermeticidad conseguida en la vivienda ABS que permite optimizar la tasa de ventilación al mínimo, eliminándose así las pérdidas de calor del interior con el exterior debidas a infiltraciones incontroladas.

En cuanto al indicador de demanda energética de calefacción, el valor alcanzado por la vivienda ABS es un 64% menor que el de la vivienda CTE. Esta reducción de demanda se debe al excelente desempeño energético que realiza la envolvente de la vivienda al estar constituida por materiales de tan baja transmitancia térmica [22], que

eliminan todo tipo de puentes térmicos en un clima con altas temperaturas en verano y muy bajas en invierno.

Además, al igual que en el caso de la demanda de refrigeración, se eliminan las pérdidas energéticas por intercambio de calor con el exterior al eliminarse las infiltraciones incontroladas [23], pudiendo así regular la tasa de ventilación mecánica al mínimo necesario.

Si extrapolamos estos resultados a una unidad monetaria mediante la suposición de un sistema de calefacción y refrigeración estándar, cuyo rendimiento sea del 80%; y sabiendo, gracias a Red Eléctrica Española, que el precio del kWh asciende a 0,15 € (sin IVA según datos de diferentes comercializadoras) con un incremento anual del 6%, según el histórico de crecimiento español de la última década, tendríamos el ahorro anual mostrado en la Tabla 3:

Con esta estimación del ahorro únicamente debido a la reducción de la demanda energética de climatización de la

	Vivienda CTE 2013		Vivienda ABS	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Consumo (kWh/m ² ·a) con sistema de climatización $\eta=80\%$	48,00	22,50	17,45	17,68
Gasto unitario (€/m ² ·año)	7,2	3,4	2,6	2,6
Superficie vivienda (m ²)	80 m ²			
Gasto parcial (€)	575,9	270,1	209,4	212,1
Gasto total (€)	846,0		421,5	
Ahorro anual	424,5			

Tabla 3. Comparación de consumos y ahorro anual. Elaboración propia.

vivienda se procede a calcular, teniendo en cuenta los precios de adquisición de las viviendas ABS y CTE, el periodo de amortización de la vivienda ABS.

De esta manera, determinaremos el número de años que tendrían que pasar para, con ese ahorro, costear la diferencia de inversión inicial entre ambas viviendas.

Antes de proceder al cálculo de esta amortización se justifican los precios de adquisición de ambas viviendas, teniendo en cuenta que se van a descontar el precio de la licencia de edificación, del proyecto y de la parcela, pues serían comunes

en todos los casos.

El precio de la vivienda ABS ha sido facilitado, de forma orientativa, por la propia empresa. Para una vivienda de estas características el precio de adquisición asciende a 1.007 €/m².

Para obtener el coste de la vivienda CTE se han contrastado diferentes fuentes relacionadas con la compra/venta de viviendas, definiendo un precio medio para el territorio español de 1.636 €/m² del que se muestra la evolución temporal en la Figura 5.

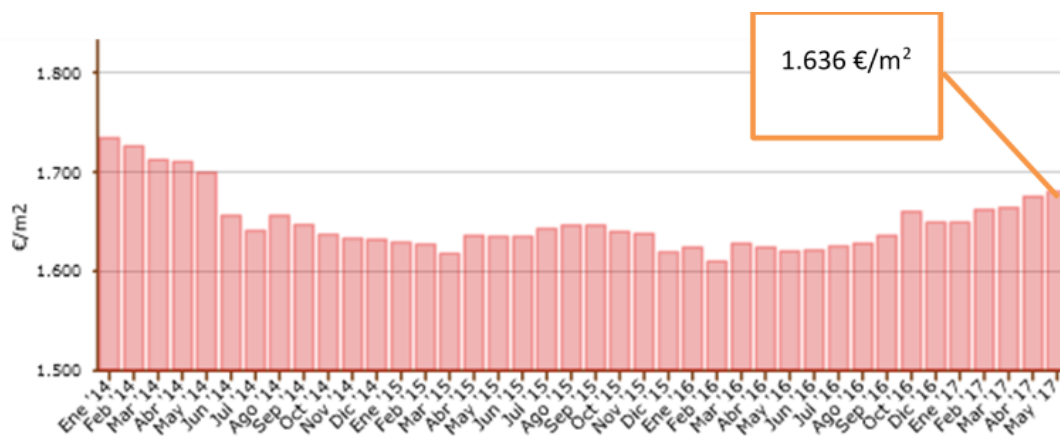


Figura 5: Precio medio suelo vivienda. (Enero de 2014 a mayo de 2017). Fuente: Fotocasa.

De este valor debemos descontar la cantidad correspondiente a la licencia de la obra, el proyecto y el coste de la parcela. Para ello sus valores han sido tomados de la estimación de precio de ABS, resultando un precio para esta vivienda de 885,25€/m².

En conclusión, obtenemos los siguientes precios que, para una superficie de 80 m², suponen una diferencia de 9.740,00 €, como se puede comprobar en la Tabla 4:

Con esta diferencia de precio, el periodo de amortización de la diferencia económica entre ambas viviendas en base a los ahorros energéticos conseguidos, aplicándoles una subida

anual del precio de la energía del 6%, se representa en la Tabla 5:

Pese a que se obtiene un periodo de amortización no muy elevado, es imperativo considerar para un cálculo de la amortización más realista el verdadero sistema de climatización de la vivienda ABS pues su rendimiento, al contar con una instalación de aerogeotermia y un intercambiador de calor con el sistema de ventilación, permite obtener un rendimiento estacional (COP) del 500% [24].

Este incremento del rendimiento es debido a la instalación de un intercambiador de calor conectado a una instalación de

Vivienda	Precio/m ²	Precio Total
ABS	1.007,00 €	80.560,00 €
CTE	885,25 €	70.820,00 €
<i>Diferencia</i>	<i>121,75 €</i>	<i>9.740,00 €</i>

Tabla 4. Coste de las viviendas. Fuente: ABS y Fotocasa.

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado
1	424,50 €	424,50 €
2	449,97 €	874,47 €
3	476,97 €	1.351,44 €
4	505,59 €	1.857,02 €
5	535,92 €	2.392,95 €
6	568,08 €	2.961,02 €
7	602,16 €	3.563,18 €
8	638,29 €	4.201,48 €
9	676,59 €	4.878,06 €
10	717,18 €	5.595,25 €
11	760,21 €	6.355,46 €
12	805,83 €	7.161,29 €
13	854,18 €	8.015,47 €
14	905,43 €	8.920,90 €
15	959,75 €	9.880,65 €
16	1.017,34 €	10.897,99 €
...
50	7.376,75 €	123.247,59 €

Tabla 5. Periodo de amortización de la diferencia económica entre la vivienda ABS y la CTE en función del ahorro energético.

aerogeotermia con el que, al tener la ventilación a través del recuperador de calor se obtiene un porcentaje de sobrecalentamiento superior al 10%, que permite reducir el salto térmico del aire del sistema de climatización, reduciendo en consecuencia la demanda energética de climatización.

Por su parte, para la vivienda del CTE, es necesario realizar una corrección del rendimiento de sus instalaciones pues el mismo Código contiene restricciones al consumo de energía primaria no renovable.

En este caso se procede a considerar una caldera de baja condensación, difiriendo este caso en que no aprovechamos la reducción del salto térmico debida al sistema aerogeotérmico y al intercambiador de calor. El valor de rendimiento de este

tipo de instalaciones ronda el 105%.

Con estos nuevos valores de rendimiento, los consumos derivados de las demandas anteriormente calculadas se muestran en la Tabla 6:

A partir de estos resultados, estimamos los ahorros teóricos a obtener en la vida útil de la vivienda, obteniendo un nuevo periodo de amortización al alcanzar la diferencia económica entre ambas viviendas con el ahorro económico derivado de la vivienda ABS.

Finalmente, y de una forma más acorde a la realidad, el periodo de amortización anteriormente planteado ascendería a 12 años desde el momento de su adquisición, como se muestra a continuación en la Tabla 7.

Vivienda	Demanda total (kWh/m ² año)	Rendimiento	Consumo (kWh/m ² año)	Coste de la energía (€/kWh)	Superficie vivienda (m ²)	Consumo económico (€/año)
ABS	28,1	500%	5,62	0,15	80,00	67,44 €
CTE	56,4	105%	53,71	0,15	80,00	644,57 €
Ahorro anual						577,13 €

Tabla 6. Ahorro entre las viviendas con equipos diferentes. Elaboración propia.

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado
1	577,13 €	577,13 €
2	611,76 €	1.188,89 €
3	648,46 €	1.837,35 €
4	687,37 €	2.524,72 €
5	728,61 €	3.253,34 €
6	772,33 €	4.025,67 €
7	818,67 €	4.844,34 €
8	867,79 €	5.712,13 €
9	919,86 €	6.631,98 €
10	975,05 €	7.607,03 €
11	1.033,55 €	8.640,58 €
12	1.095,57 €	9.736,15 €
13	1.161,30 €	10.897,45 €
...
50	10.029,08 €	167.561,56 €

Tabla 7. Amortización vivienda ABS con consumos ajustados. Elaboración propia.

Una vez conocido el consumo de energía de ambas viviendas y como último punto a analizar, se procede a estimar la generación de emisiones de CO₂ asociadas a la etapa de uso de ambas viviendas en la Tabla 8.

Para ello se ha recurrido a los coeficientes de paso del Ministerio de Industria Español que, aplicándose a los consumos calculados con los rendimientos de los equipos reales, determinan la siguiente diferencia de emisiones entre ambas viviendas:

Gracias a esta última operación se determina la reducción de emisiones, que asciende a 1.373,57 kg de CO₂ al año, lo que demuestra otra ventaja más, tanto para nosotros como para el medioambiente, asociada al uso de la vivienda pasiva de

American Building System.

Para este último cálculo, de manera que se demuestre que no ha sido algo puramente teórico, se ha procedido a contrastar las emisiones teóricas calculadas para la vivienda ABS con los resultados obtenidos de su Declaración Ambiental de Producto, documento normalizado y verificado por una tercera parte independiente [25].

De esta manera podremos afirmar, al ser el rendimiento de los equipos de dicha vivienda un valor real proporcionado por el fabricante de los mismos y los coeficientes de paso otro dato normalizado, que la simulación energética de la vivienda ha sido realizada correctamente.

Vivienda	Demanda (kWh/año)	Rendimiento	Energía Final (kWh/año)	Energía Final Kg CO/kWh	Emisiones anuales (kg CO2/año)
ABS	2.248,00	500%	449,60	0,357	160,51
CTE	4.512,00	105%	4297,14	0,357	1.534,08
Diferencia de emisiones					1.373,57

Tabla 8. Emisiones asociadas a los consumos de las viviendas. Elaboración propia. Fuente de los datos: MINETAD.

Si nos fijamos en el indicador de “Potencial de Calentamiento Global” para la etapa de uso de la vivienda, calculados para los 50 años de vida útil de la vivienda de la Figura 6, las emisiones ascienden a 8.365 kg de CO2.

Para nuestro estudio, a partir de la demanda energética fruto de la modelización, el rendimiento de los equipos (dato) y los coeficientes de paso del Ministerio de Industria español

(dato), para 50 años de vida útil, las emisiones suman un total de 8.025,5 kg de CO2.

De esta manera podemos comprobar que estimación de las emisiones a partir de la demanda resultado de la simulación energética de la vivienda, y las instalaciones supuestas, es totalmente coherente con las emisiones generadas por la vivienda en la realidad.

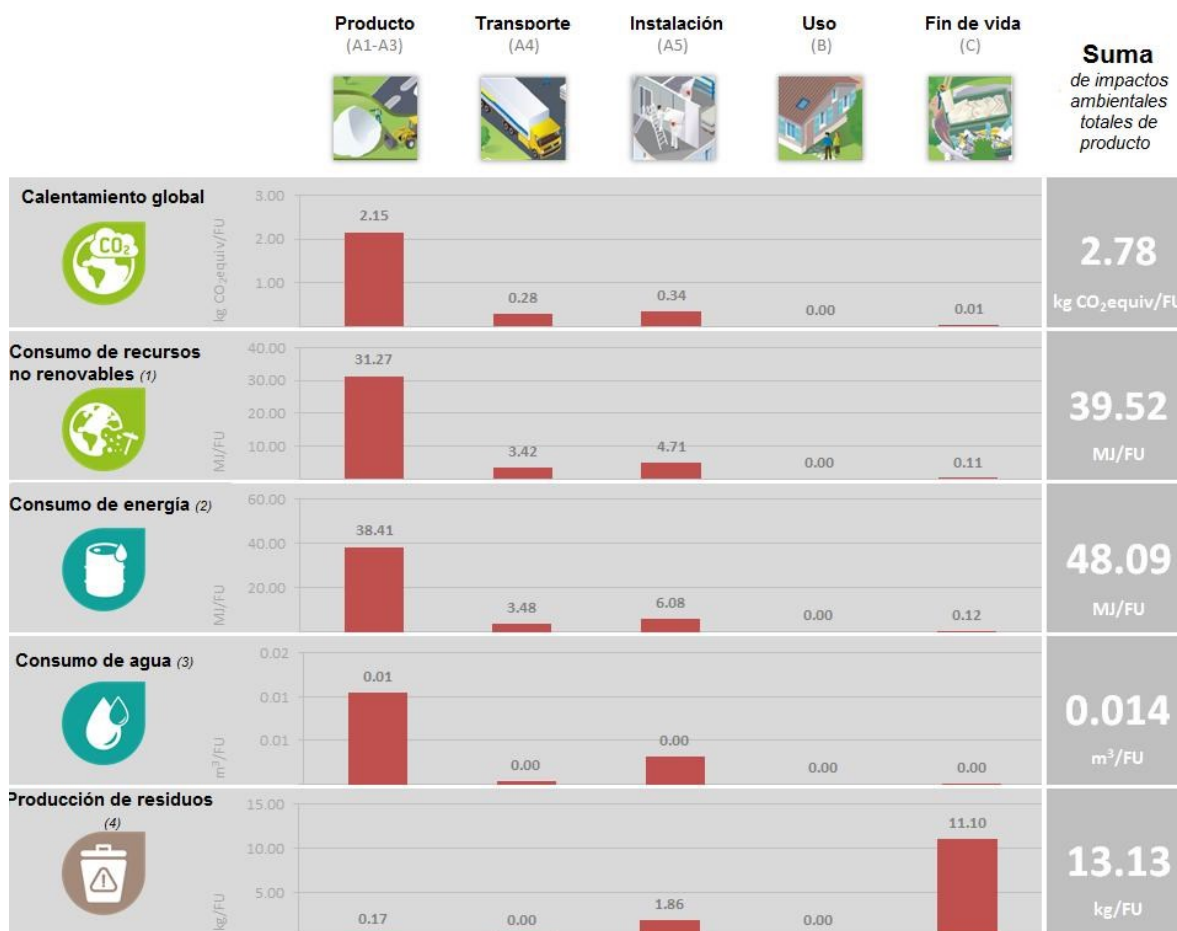


Figura 6: Impactos ciclo de vida vivienda ABS. Fuente: Marcel Gómez Consultoría Ambiental.

4. CONCLUSIONES

A partir de lo dispuesto en los apartados anteriores de este artículo, las principales conclusiones obtenidas son:

- I. La vivienda de American Building System reduce un 50% la demanda energética respecto a la vivienda de referencia del Código Técnico de Edificación vigente desde el año 2013.

II. El periodo de amortización para la diferencia económica entre ambas viviendas (9.740 €) asciende a 12 años, por lo que la ventaja económica de la vivienda ABS se obtiene a medio plazo.

Además, hay que tener en cuenta que, al contrario que la vivienda CTE, la ABS no requiere ningún tipo de rehabilitación una vez que se ha ejecutado gracias a su sistema constructivo.

III. La reducción de emisiones de CO₂ de la vivienda ABS respecto a la CTE es del 90%, por lo que la implantación en España de un sistema más sostenible contribuiría a reducir significativamente los daños medioambientales generados por el sector de la construcción.

IV. Al tratarse de una producción industrializada, el proceso constructivo del Sistema ABS, aunque no es objeto de este estudio su análisis, proporciona una serie de ventajas como:

- ♦ El montaje de la vivienda a partir de módulos individuales.
- ♦ La instalación directa en la ubicación final, lo que permite al usuario tener una vivienda "llave en mano" sin sufrir movimiento de tierras, andamiaje u otras molestias propias de una obra de larga duración.

En resumen, el buen comportamiento energético de la vivienda ABS gracias al uso de materiales de altas prestaciones y una ejecución minuciosa, se traduce en una mínima necesidad de climatización tanto en los meses de invierno como en los de verano, lo que aporta un doble beneficio: un ahorro económico considerable y una reducción de las emisiones de CO₂.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Aula de Innovación PLACO-UPM su colaboración para la consecución de este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

6.1 BIBLIOGRAFÍA

- [I] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, Multidimensional Systems, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [II] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, June 1997.
- [III] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, 1997
- [IV] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, 1998.
- [V] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>.

6.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Zapain, "Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la Humanidad", reseña. Fondo de Población de Naciones Unidas (UNFPA) 2002.
- [2] Global Vision Area, "Building a common home. Building sector. A global vision report", World Sustainable Building Barcelona, 2014.
- [3] T. Abergel, B. Dean and J. Dulac, "UN Environment and International Energy Agency (2017): Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017", ISBN No.: 978-92-807-3686-1, 2017.
- [4] J. Lelieveld, J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki and A. Pozzer, "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale", doi:10.1038/nature15371, 2015.
- [5] F. Estenssoro, "El ecodesarrollo como concepto precursor del desarrollo sustentable y su influencia en America Latina", *UNIVERSUM*, Vol. 30, N° 1, Universidad de Talca, 2015.
- [6] M. Artaraz, "Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible", *Ecosistemas* 2002/2, 2002.
- [7] H. Radhi, "Evaluating the potential impact of global warming on the UAE residential buildings – A contribution to reduce the CO₂ emissions", *Building and Environment* 44 (2009) 2451–2462, 2009.
- [8] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [9] I. Murray, "Capitalismo y turismo en España. Del "milagro económico" a la "gran crisis", Universidad Autónoma del Estado de México, ISSN: 1870-9036, Publicación Semestral, N° 29, Julio/Diciembre 2015.
- [10] J. Zuo and Z. Zhao, "Green building research—current status and future agenda: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30(2014)271–281, 2014.
- [11] A. Ping, A. Darko and E. Effah, "Strategies for Promoting Green Building Technologies Adoption in the Construction Industry-An International Study", *Sustainability* 2017, 9, 969; doi:10.3390/su9060969, 2017.
- [12] Passivhaus Institute [Online]. Available: <http://www.passivehouse.com/>
- [13] A. Martiarena, "El impacto de los gases de efecto invernadero en Madrid es el doble de lo registrado" *La Vanguardia*, 2018.
- [14] Efinovatic, "SG SAVE: Verificación del CTE-HE con EnergyPlus". Available: <https://www.efinovatic.es/energyPlus/>
- [15] Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Ahorro Energético, 2013.
- [16] R. Suárez and J. Frago, "Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo", *Informes de la Construcción*, Vol. 68, 541, e136, ISSN -L: 0020-0883, 2016.
- [17] C. F. Reinhart and C. Cerezo, "Urban building energy modeling e A review of a nascent field", *Building and Environment* 97 (2016) 196e202, Massachusetts Institute of Technology, 2016.
- [18] Saint-Gobain Isover, "Aislamiento de Fachadas Soluciones ISOVER para Obra Nueva y Rehabilitación".
- [19] A. Vogt and L. Robledo, "American Building System, balance energético", *VAND Arquitectura*, 2016.
- [20] M. Andersen, C. Discoli, G. Viegas and I. Martini "Monitoreo energético y estrategias de retrofit para viviendas sociales en clima frío", *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 7, N°. 2. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 50-63, 2017.
- [21] N. Bermejo, "Manual de usuario SG SAVE", Saint-Gobain & Efinovatic, 2017.
- [22] C. Morán, A. García, D. Ferrández and K. Hosokawa "Acondicionamiento Pasivo de una Vivienda en la Sierra de Madrid", *Anales de Edificación*, Vol. 1, N° 1, E.T.S. Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.

[23] R. Hornero, "Estudio de la ventilación natural en un edificio y su efecto en el grado de confort de los ocupantes", Universidad Politécnica de Cataluña, 2013.

[24] E. Jiménez, "Análisis Económico Energético Y Ambiental Del Uso De La Aerotermitia", Universidad de la Rioja, 2017.

[25] C. Gazulla, P. Fullana i Palmer and J. Rieradevall i Pons, "Declaraciones ambientales de producto: instrumento para la mejora de productos", Universidad Politécnica de Cataluña, 2013.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Use of the energy of the urban Wastewater network for the thermal conditioning of the swimming pool of the Moratalaz Sports Centre. Madrid

Aprovechamiento de la energía de la red urbana de aguas residuales para el acondicionamiento térmico de la piscina del Polideportivo de Moratalaz. Madrid

LUIS DE PEREDA

Architect, Urban Planner. Project Director. Advanced and Sustainable Systems, ENERES. luisdepereda@eneres.es

JOSÉ FERNÁNDEZ

ICCP. Managing Director. Advanced and Sustainable Systems, ENERES.

HUGO LANA O

IE. Energy Efficiency Manager. Advanced and Sustainable Systems, ENERES.

MARTA DURANGO

ICCP. Construction Manager. Advanced and Sustainable Systems, ENERES.

◊ The challenge is to overcome the current, legal, contractual, economic and private management, political and economic models of the systems that transform, distribute and channel resources, and create the channels and the principles and means of government and operation that will allow the natural flow and exchange of energy and other resources among them, in favor of the global equilibrium.

Underground networks of urban infrastructures channel fluids, water, sewage, air, mechanical and thermal vehicles, store resources of all kinds, and interact with the underground mean, which allows to preserve a moderate rate of intensity and temperature of the thermal energy that they store and transport, all of it very close to the potential users that these resources could serve as primary resources. It is the case of the Municipal Sports Center, CDM, of Moratalaz, an installation that gives sporting services to about 600,000 users per year and has equipment voraciously consumer of energy resources as it is, in our case, the indoor swimming-pool. The heating of the swimming water, the dehumidifying of the air, the heating of the space and the heating of water of the pool are solved with the production of heat by means of gas boilers. The close existence of a municipal waste-water collector, which runs alongside the CDM, has allowed the existing heat production installation to be hybridized with a new one based on a thermal exchanger, directly installed in the collector's gallery. The monitoring of the operation and consumption of the system has allowed to verify a percentage reduction of emissions of 37.5% and a percentage reduction of energy costs of 39.2%, in the first stage of operation.

Urban Infrastructure; Energy; Recovery; Efficiency

◊ El reto es superar los modelos actuales, jurídicos, contractuales, económicos y de gestión particular, política y económica, de los sistemas que transforman, distribuyen y canalizan los recursos y crear los canales los principios y los medios de gobierno y operación, que permitan el flujo natural de energía y otros recursos entre ellos, en pro del equilibrio global.

Las redes subterráneas de las infraestructuras urbanas canalizan fluidos, agua, agua residual, aire, vehículos de todo tipo, almacenan recursos de todo tipo, e interaccionan con el terreno lo que permite preservar una tasa moderada de intensidad y temperatura a la energía térmica que almacenan y transportan, muy cerca de los potenciales usuarios a los que estos recursos podrían servir como recursos primarios. Es el caso del Centro Deportivo Municipal, CDM, de Moratalaz, una instalación que da servicios deportivos a cerca de 600.000 usuarios al año y cuenta con equipamientos vorazmente consumidores de recursos como es, en nuestro caso, la piscina cubierta. El calentamiento del agua de nado, la deshumectación del aire, la calefacción del espacio y el calentamiento de agua caliente sanitaria de la piscina se resuelven con la producción de calor mediante calderas de gas. La existencia de un colector municipal de aguas residuales, que discurre junto al CDM ha permitido hibridar la instalación existente con otra de intercambio instalada en la galería del colector. La monitorización del funcionamiento y consumos del sistema ha permitido verificar una reducción porcentual de las emisiones de un 37,5% y una reducción porcentual de los costes de energía de un 39,2%.

Infraestructuras urbanas; Energía; Recuperación; Eficiencia

1. INTRODUCTION

1.1. ENERGY USE OF UNDERGROUND URBAN INFRASTRUCTURES

On May 25, 2011 the Director General of the energy and mines industry of the Community of Madrid and Vice-

president of the Energy foundation of the community of Madrid, FENERCOM, Mr. Carlos López Jimeno, presented a guide on the energetic use of the Underground Urban Infrastructures [1], within the framework of a conference on energy use of underground urban infrastructures. The guide was written by technicians who at that time were executing in

Spain projects and works in the area of extraction and exchange of energy through geothermal construction and underground infrastructures. The most experienced companies and agencies, of our European environment were also convoked and involved in this area.

The guide contextualized and documented the actions that, in the field of energy use of underground urban infrastructures, tunnels, metro, parking lots and sewage networks, have been executed in several countries for decades.

This compilation and documentary effort was an answer to the mandatory need of proposing alternatives to the current energy model, with another one based on the recovery and use of the huge quantities of wasted energy that are generated in all the systems and subsystems of the energy ecosystem, among others the one of underground infrastructures, and, also, their use as primary energy resources to cover the demand of primary resources of the same systems or of other systems, close by, adjacent or overlapping, as is the typical case of urban infrastructure networks.

The distributed nature of the capture, the exchange and application, and the low thermal intensity of the enormous energy resource that comes from underground infrastructures are common characteristics to all the exposed cases. In addition to logically spinning the documentary structure of each chapter, the guide makes a shallow analysis of the potential of each infrastructure and even uses this study, to propose, as a model of action, interventions that address the use of the integrated energy potential of all resources, geothermal, air and water, offered by the existing network.

The guide explained and illustrated the mechanisms and principles of geothermal exchange through the ground, water and air, using as exchangers the structures of the underground networks, which in the various means allow transfer and exchange of cost free energy, and its application to the inner environmental conditioning of buildings and public spaces by means of energy exchange and supply techniques, by means of heat pump and coupling to efficient systems of transfer of energy to the inhabited spaces or to industrial facilities and processes.



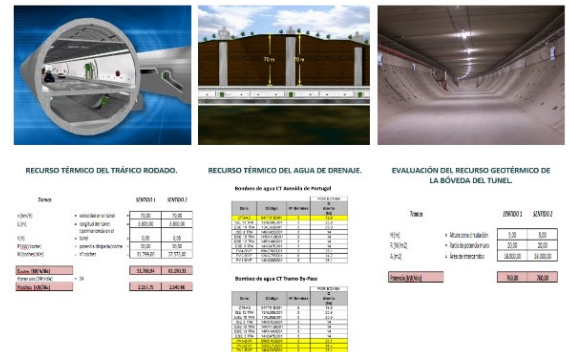
2011. Guía FENERCOM. CAM



2009. EMV. Edificio dotacional geotérmico / solar



2014. Asociación Madrid Subterránea



From this point of departure, it is easy to understand that the mechanisms of rebalancing go through the transfer of the surplus energy resources existing in one part of the ecosystem to another part of it where energy is demanded, through the capacity of exchange of energy within the whole ecosystem, by the correction of imbalances and by the symbiotic action between the different systems and subsystems, of infrastructures, for the transfer of energy to the inhabited spaces or to industrial processes.

The fields of interaction between energy-consuming systems and usable residual energy systems are multiple, the interaction is carried out through the identification of recoverable resources, potential suppliers and pathways of transfer. The context is that of an intelligent city, managing the balance between resources and information, in a network. (Figure 2).

Information and communication technologies already support

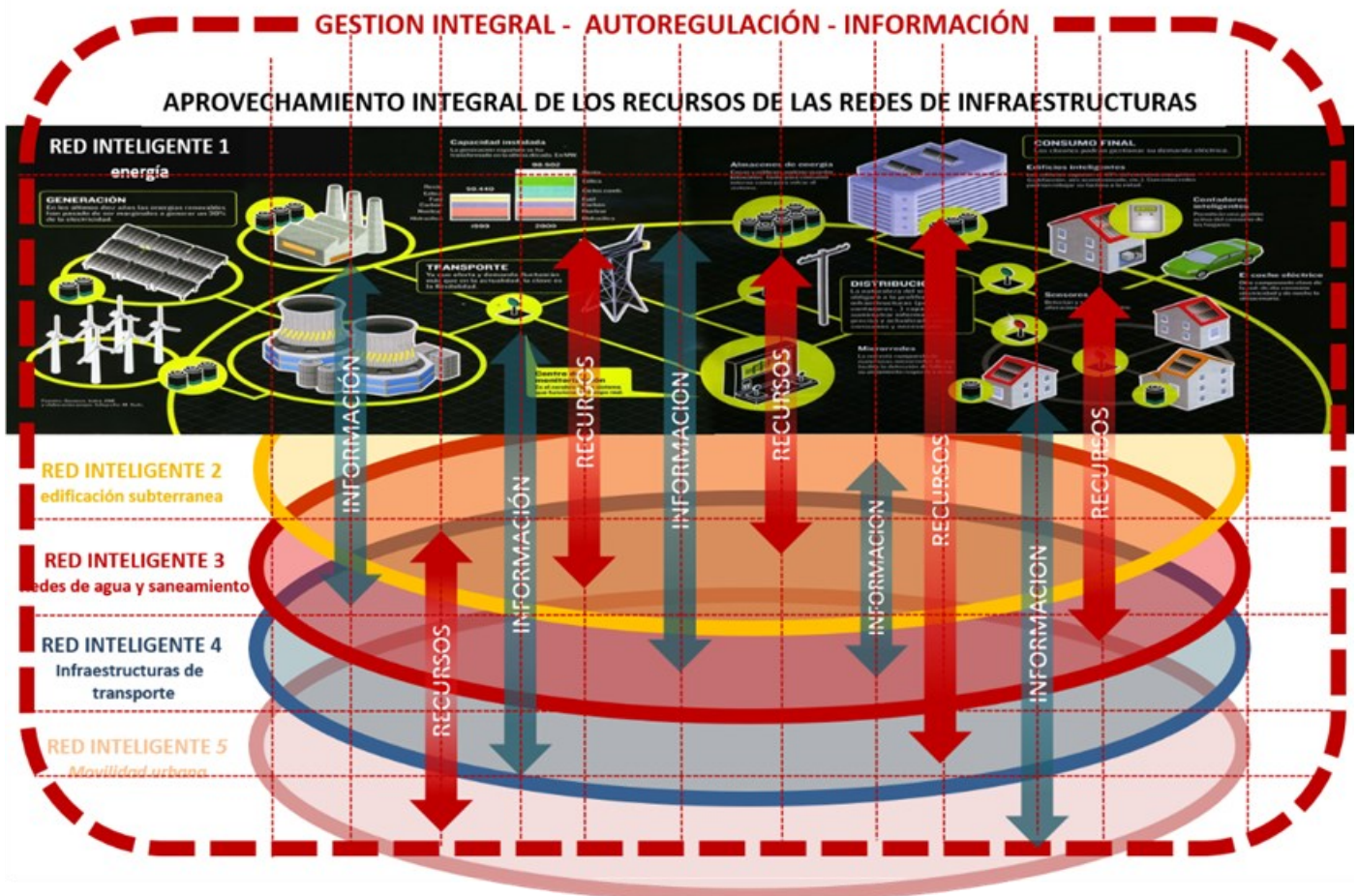


Figure 2: The fields of interaction between energy-consuming systems and usable residual energy systems. Source: ENERES.

the actions that drive to knowledge, interpretation, decision and action, and allow to reconfigure in real time the internal structure of interrelations of the ecosystem to adjust it to the scenarios of maximum efficiency.

The challenge is to overcome the current, legal, contractual, economic and private management, political and economic models of the systems that transform, distribute and channel resources, and create the channels and the principles and means of government and operation that will allow the natural flow and exchange of energy and other resources among them, in favor of the global equilibrium.

The harmonious development of cities is linked to a balance between its density and its complexity [3], which resolves the richness of interactions that characterize urban life. The physical resolution of the systems and endowments that support this density of uses would be impossible without giving the city a sufficient network of basic infrastructures that

guarantee the rights and the services of the citizens.

On the other hand, the progressive recovery of urban space for its civic use poses to the need to orient the field of development of the network of infrastructures, services and endowments, towards the underground space. The subsoil [4] offers us not only space, but also water, materials and energy.

The integral planning of the underground space and the adequate management of its resources is a fundamental aspect, and it has to be oriented to define the field of interactions, conflicts and synergies, among the multiple uses that it integrates; and then define the objectives and criteria of sustainability according to the different conditions: urban, geological, biological, economic and cultural. The field of opportunities emerging from integrated management of underground resources includes the use of subsoil energy resources for energy capture, exchange and storage.

Geothermal exchange allows the inertial use of the underground and also of the constructed mass of buildings and infrastructures, for the accumulation of large quantities of thermal energy with low intensity within moderate temperature bands. Ground is therefore a means to accumulate the thermal energy generated, and often considered residual, by industrial systems and urban infrastructures and to propitiate its reuse with very low costs, and very long-life cycle (Figure 3).

Geothermal exchange is also a resource linked to the distributed generation of thermal energy, and, associated with the use of the geothermal heat pump with open or closed-circuit capture, allows the extraction and exchange of renewable energy sources and also the use of "residual" energies from different sources.

Underground urban infrastructures integrated into the Energy Networks Act as A virtual plant of generation integrated by systems of distributed generation, storage and consumption, in dynamic interaction with other systems of the urban network. Precisely this direct contact with the terrain in the context of the interaction with air, water, mechanical systems and people, provides the capacity to exchange heat with the ground, and to act either like:

- ◆ Collectors, of the geothermal energy, from many different sources, that in huge quantities surrounds us.
- ◆ Exchangers, to transfer or absorb the energy to the ground or to the buried infrastructure networks and other means with which they interact.
- ◆ Accumulators, for the seasonal exchange of energy or to absorb the gap between periods of generation and periods of energy consumption, of the infrastructure systems themselves or with other production and consumption means with which they interact.

For the exploitation of the geothermal potential of all these buried systems there are numerous procedures, depending on the use that is going to be given to the energy extracted or injected to the ground.

Some of these systems of underground infrastructures are networks of conduits, galleries and pipes, that circulate fluids, water or air, and directly exchange energy with the ground, but the case in which we focus on this communication belongs to the large family of underground structures, built on fabric or concrete of high thermal conductivity, which can be thermally activated for their use as exchangers, incorporating energy transfer circuits in closed loop that exchange heat with residual water.

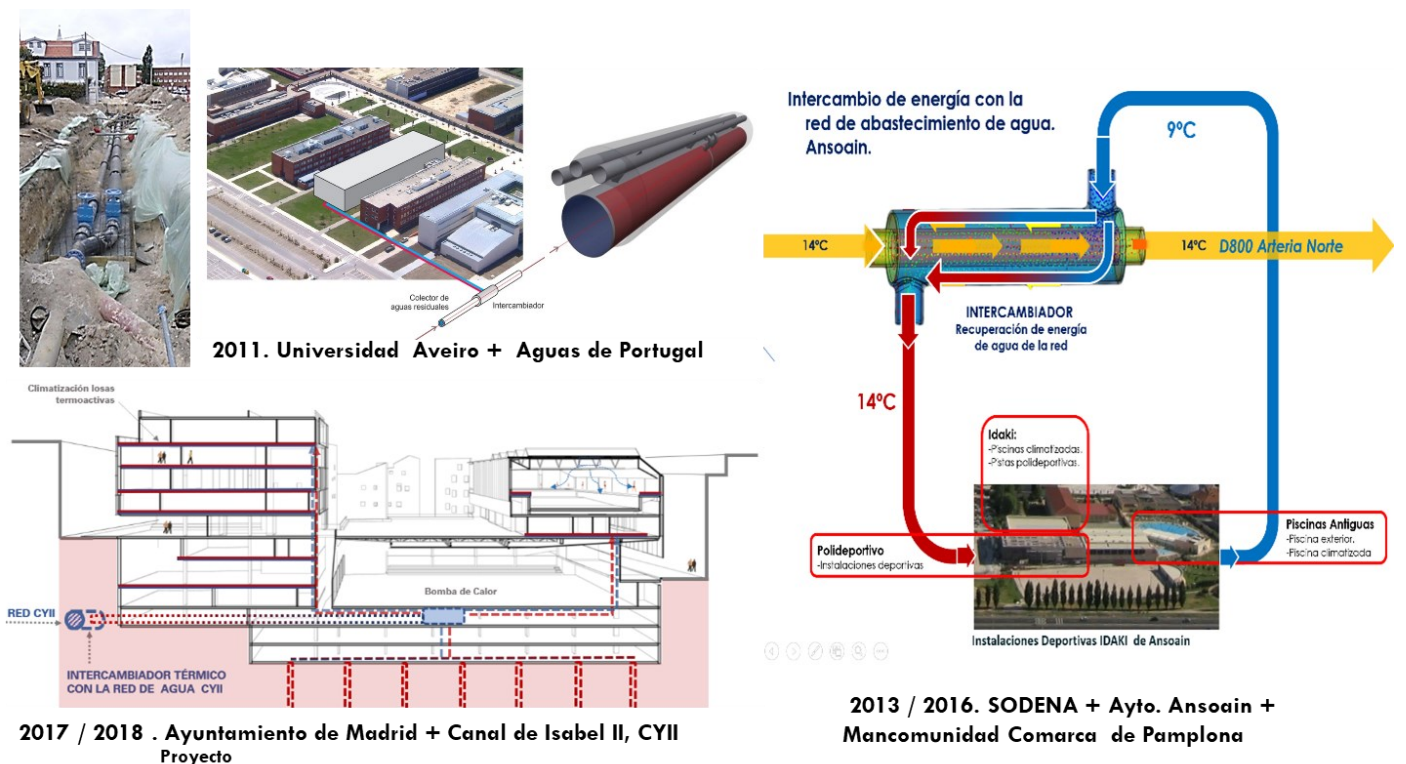


Figure 3: Cases Implemented and projected in Portugal and Spain for energy exchange and recovery in urban water distribution networks and wastewater infrastructures. Source: ENERES.

2. THE MORATALAZ SPORTS CENTRE AND THE OPPORTUNITY FOR EFFICIENCY

The case we expose in this communication has all the characteristics that allow integration exchange facilities with wastewater in existing thermal energy facilities with other traditional generation systems, with the aim of the most efficient use of recovered energy resources.

The first key feasibility factor is the identification of an unresolved potential for efficiency in a constant and intense consumer, such as the Municipal Sports Center Moratalaz, CDM.

Built in 1990, the CDM accounts a constructed surface of 7.350 m², it is operated by 136 Employees, and provides service annually to 580,000 users, 12 to 14 hours a day, all

the days of the year. In Table 1 annual consumptions and emissions are shown.

	Electricity	Gas	Water
Annual Consumption CDM	661,658 kWh. Year	1,359,206 kWth./year	121,946 m ³ /year
Annual Emissions CDM	218,347 kg CO/year	277,278 kg CO/year	
Annual Consumption Indoor Pool		960,703 kWth./year	
Annual Emissions Indoor Pool		195,980 kg CO/year	

Table 1: Annual consumptions a emissions in CDM and Indoor Pool.

The building complex of the CDM constitutes a system with enormous potential for additional efficiency though the use of crossed-energy resources. An integrated intervention on all the systems with potential of reduction of energy consumption can solve, with very low consumption and much quality of service, the demand of the complex:

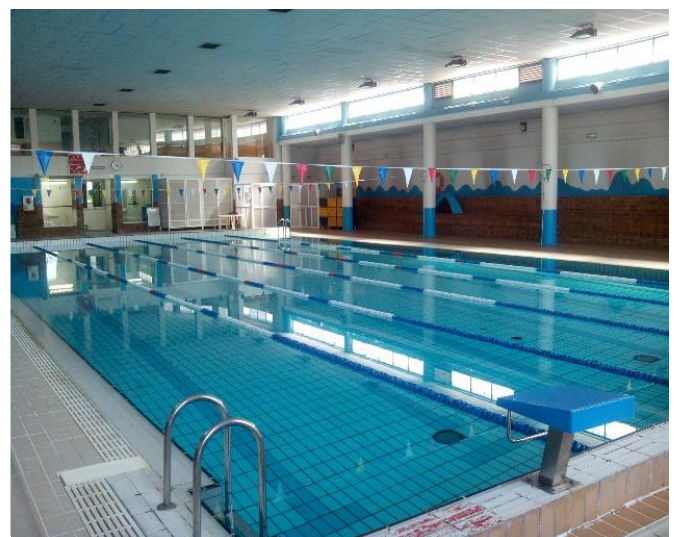
- ◆ The envelope bioclimatic improvement.
- ◆ The choice of environmental conditioning systems suitable to the resources of the medium.
- ◆ The use of renewable energies, in particular the Solar thermal, for the production of heat.

- ◆ The injection of recovered energy to new and existing heat generation systems.

These actions of improvement are being implemented in the CDM of Moratalaz in successive projects of efficiency, which, as is our case, are executed in an isolated basis and, therefore, it is very important to envisage their future integration, and comprehensive operation and management, with the rest of the complex technical systems and the extension of their coverage beyond the current limits that already justify their application.

The indoor pool of the CDM of Moratalaz in Madrid is a resource that requires a constant injection of heat applied to air conditioning, dehumidifying, heating of swimming water and the production of ACS. The heat production is today solved with two gas boilers (Figure 4).

The second determining factor is the existence of energy resources usable in the environment and in the context of the existing building. The case of the CDM of Moratalaz, a main existing resource is a municipal waste water collector, which collects the water poured by the important residential areas of the Altos de Moratalaz neighborhood, which ensure a minimum flow of 50 l/s of residual water at an average temperature of 15 ° C. The collector runs parallel to the CDM and the third feasibility factor is that a direct connection is possible between the network integrated exchange system and the technical room of the building of the indoor pool, where the heat pump and the exchangers that connect with the interior building systems, can be located.



Hot water Production



Dehumectation



Pool water heating



Heating

Figure 4: Indoor pool of the CDM of Moratalaz in Madrid.

The collector was visited and assessed, the stability of the flow and the temperature residual water were verified, and an execution project was drafted for the City of Madrid, including (Figure 5):

- a. Accurate calculation of Exchange performance parameters.
- b. The engineering and design of the steel exchanger which is integrated into the collector's gallery.
- c. The engineering of the process of execution of the works and the auxiliary elements necessary for the connection between the collector and the sports centre.
- d. The design of necessary access wells for the personnel and to introduce the sections of the exchanger that are integrated in the gallery.
- e. The engineering and design of the equipment and facilities that allow the transformation and application of the recovered heat to the production of ACS and to the heating of the pool.

- f. The design and engineering of the measurement and control systems.

3. METHODOLOGY

3.1. TECHNICAL PRINCIPLES AND AVAILABLE TECHNOLOGY FOR ENERGY EXCHANGE WITH WASTEWATER

Recovery and use as primary resources of wastewater energy has a very important potential [5]. More than 15% of the energy that we introduce in our homes, is wasted when leaving them incorporated into sewage, which flows through the geothermal field of the subsoil at temperatures between 15°C and 20°C.

The engineering, design and manufacture of the exchange systems that have been installed in the gallery of the municipal collector of Moratalaz come from Swiss experience, more than thirty years of development of systems of thermal exchange with the water networks and sewage.



Figure 5: Very close to the CDM runs an accessible wastewater collector an average temperature of 15 °C and with an average flow of 50 L/s = 180 m³/h. A continuous and free resource of wasted energy and a huge efficiency opportunity.

The exchange technique, both in new collectors with the integrated heat exchanger and in existing collectors and galleries, to which a custom-designed exchanger is incorporated, is highly developed and is very reliable both in its performance and in its functionality in the integration into a collective system so important and demanding in terms of operability and maintenance, as is the sewerage. Up today it has produced a full range of technology solutions for custom made exchangers, suitable for various types of Networks, pressurized or not pressurized, type of water, etc. [6].

The technology of reversible water-water heat pump and the systems that allow the use of heat or cold at moderate temperature are also developed with a high level of maturity and efficiency

All the technical and technological fields that allow to develop a reliable, efficient and guaranteed system of thermal exchange and use of the energetic resource are ripe and experienced, then in this project in Moratalaz an expert application is made and even when it is innovative in Madrid and Spain, it is warranted in its performance and completely safe.

The Waste water energy recovery technique is based on the development of materials and manufacturing processes that produce high-performance steel exchangers and very low maintenance.

They provide the exchange devices built into existing networks and others for new collectors. With the interaction of a heat pump we can supply cold or hot water at moderate

temperatures to buildings that, prepared to take advantage of it, can heat air or water with this recovered resource. (Figures 6 and 7).

The steel exchanger custom designed for the CDM of Moratalaz is composed of 48 sections of 3m length.

They were introduced one by one through a connection, once in place they were anchored to the masonry walls of the collector. They are constituted by a channel of exchange built

with a high pressure inflated steel double skin exchange camera and go and return pipes of a closed tinkelman system circuit.

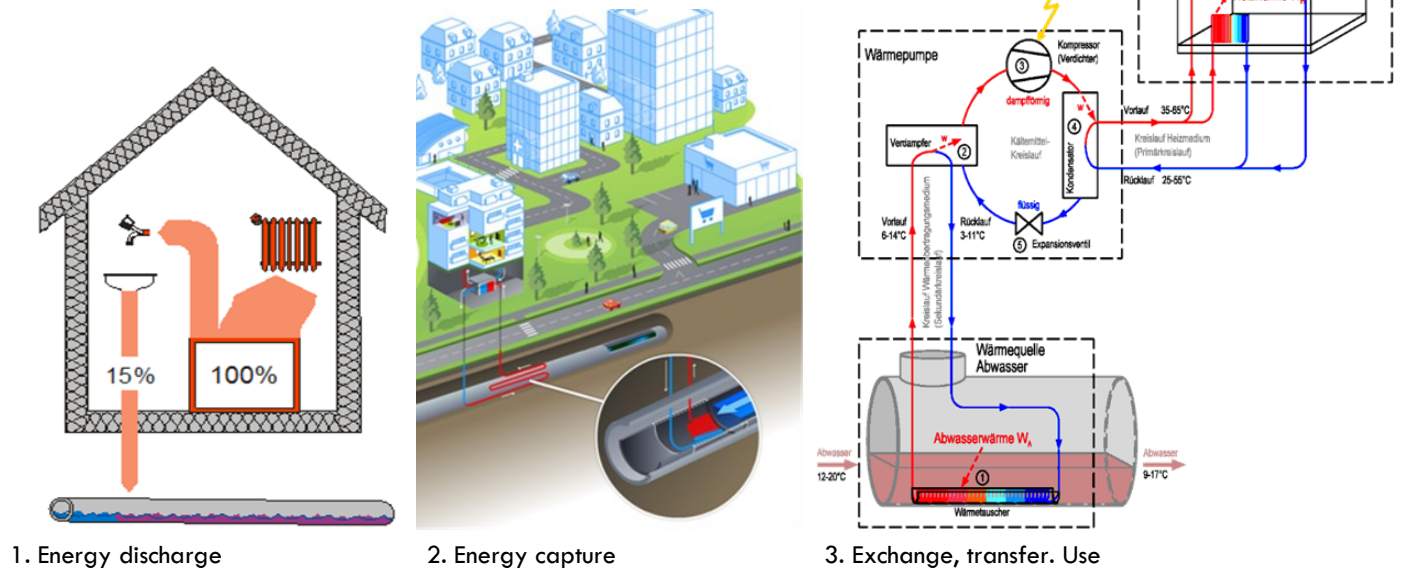


Figure 6: Heat exchange process.



Figure 7: Collector with an integrated heat exchanger. Source: KASAG.

A heat exchanger was designed and manufactured up to measure to fit in the geometry of the existing collector. It is a heat exchanger of 144 meters of total length integrated by 48 sections, of 3m length. (Figure 8).

With a thermal jump of 4.38 °C and a flow of 46m³/h the exchanger has a total exchange power of 235.7, 1 kW.

The minimum flow rate of 50 L/s, and the average temperature of 15 °C, of the residual water in our collector, allows an excellent use of the residual water energy resource. (Figure 9).

The monitoring of the operation of the Exchange system, in the first months of operation, is yielding very positive results and a higher performance compared to the project simulations.

3.2. TECHNICAL PRINCIPLES AND AVAILABLE TECHNOLOGY FOR ENERGY EXCHANGE WITH WASTEWATER

The water flow rate of 45.64 m³/h ≈ 46 m³/h (1) driven by the circulating pump B1 leaves the BC at 6.7 °C and is inserted into the sewage exchanger for heating.

The residual water temperature that will run through the

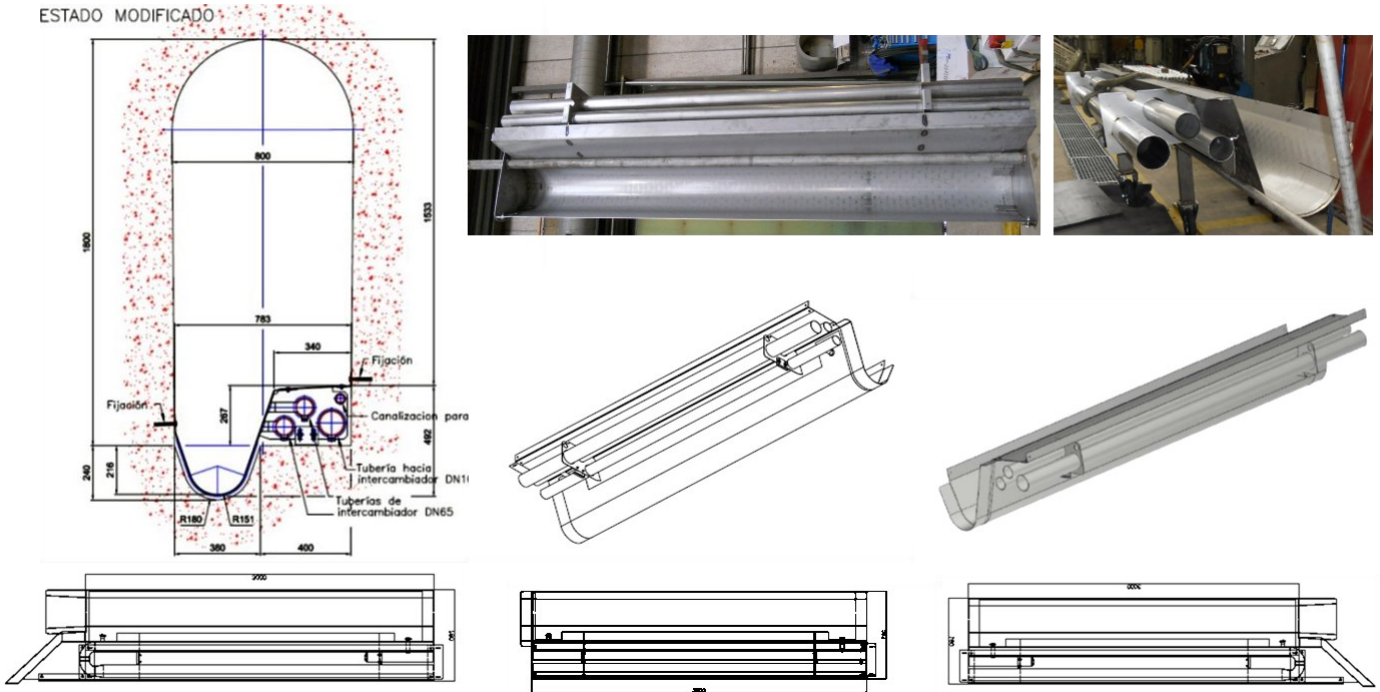


Figure 8: Heat exchanger designed and manufactured up to measure to fit in the geometry of the existing collector.

sewage exchanger is at an average temperature of 15 °C with an average flow rate of 50 L/s = 180 m³/h.

After traversing the entire exchange surface and exchanging heat with the flow rate of 45.64 m³/h ≈ 46 m³/h (1) of the chiller, the temperature of the wastewater will be slightly

reduced and will be 13.86 °C, maintaining the same flow rate of 180 m³/h. The flow rate of 46m³/h of 6.7°C after being heated by the sewage exchanger will reach a temperature of 11 °C. The flow rate of 46m³/h of 11 °C will be introduced to the heat pump, HT (Figure 11).

KASAG Swiss AG	
Eneres Tecnológica S.L., Madrid O103060 Project Polideportivo Moratalaz	
Heatexchanger System Heating	
Construction data	
Amount units in serial connection	n 1 -
Amount of units	Z 48 -
Total length	L 144 m
Construction of single element	
Length of one unit	l 3000 mm
Width of chamber	b 233 mm
Amount of chambers	nk 3 -
Pressure drop	
Pressure drop heatexchanger	dplot 0.59 bar
Pressure drop piping	dptot 0.29 bar
Total pressure drop	dp 0.88 bar
Waste water flow	
Volume flow	V1 0.0500 m ³ /s
	50.0 l/s
Temperature waste water in	TH 15.00 °C
Temperature waste water out	TA 13.88 °C
Primary circuit	
Volume flow	V2 46.00 m ³ /h
	12.78 l/s
Volume flow per unit	VE 0.27 l/s
Flow speed chamber	w_w 0.60 m/s
Temperature in	Te 6.70 °C
Temperature out	Ts 11.08 °C
Medium	Water
Power of System	
Coefficient of heat transmission	k 402 W/m ² K
Fouling-Faktor	f 670 W/m ² K
Effectiveness	E 0.53 -
Retention time	t 14.97 s
Power per unit	4.910 kW
Power Total	235.7 kW
Power / Surface	2.34 kW/m ²

Eneres Tecnológica S.L., Madrid
O103060 Project Polideportivo Moratalaz
1 units in serial connection
Waste water temperature: 15.0°C
Medium primary circuit: Water
Te = 6.7°C
dT = Ts-Te
Te = Temperature heat exchanger in
Ts = Temperature heat exchanger out

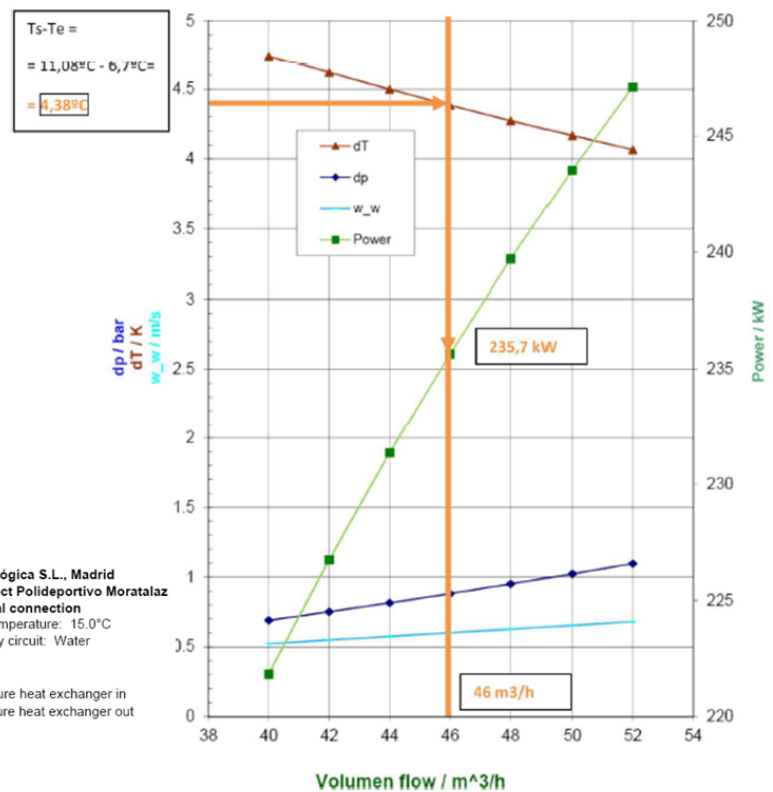


Figure 9: Heat-exchanger system data. Project Polideportivo Moratalaz. Source: Eneres, KASAG.

The water flow rate of 47.2 m³/h comes from BC to 35 °C and is introduced to the low temperature collector for use in the installation. The water comes out of the collector at 30 °C and is introduced in the cooler to again boost 47.2 m³/h at 35 °C.

Pool

35°C
30°C
55°C
50°C

Hot water

El caudal de agua de 41,6 m³/h sale de la BC a 55 °C y es introducido al colector de alta temperatura para ser utilizado en la instalación. El agua sale del colector a 50°C y es introducido en la BC para de nuevo impulsar 41,6 m³/h, a 55 °C.

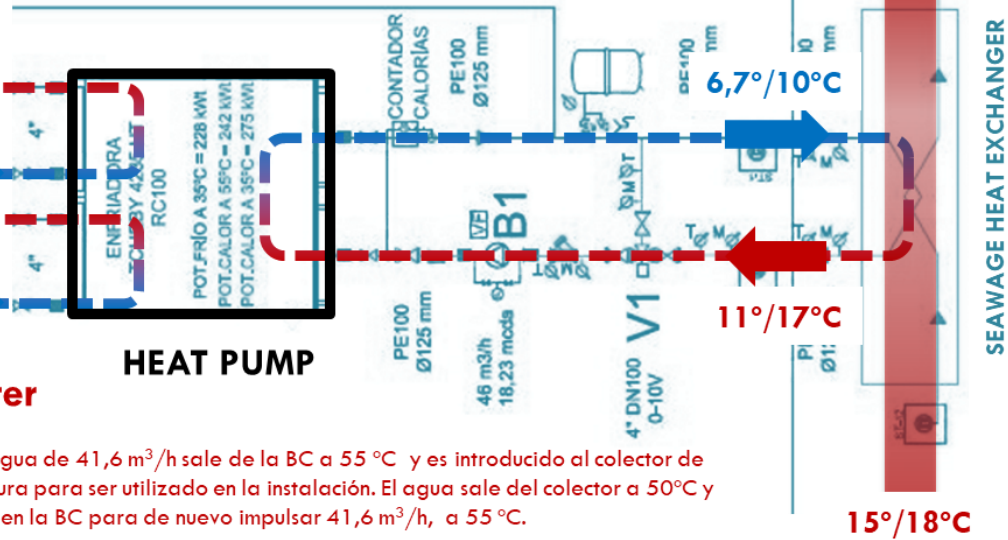


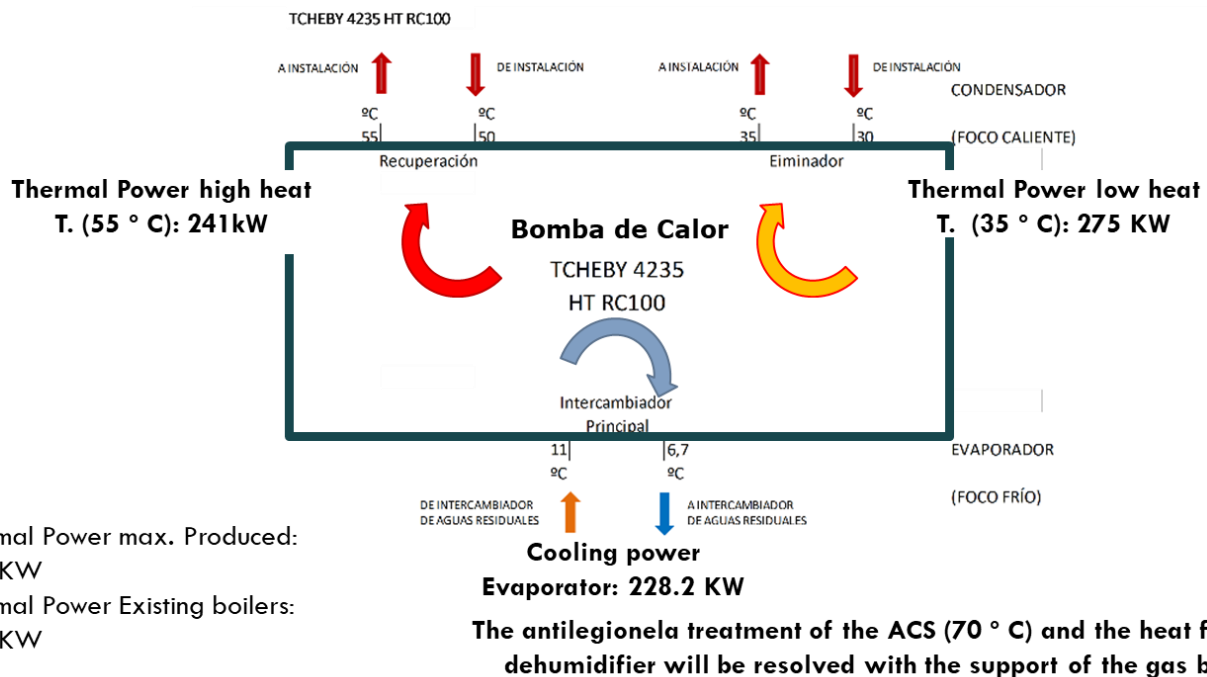
Figure 10: Application of heat recovered to the heating of the pool and to the production of hot water. Source: Eneres.

The exchanger integrated in the collector works against a heat pump that, on the side of the exchanger, its cold focus, produces a water flow of 45.64 m³/h at 6.7 °C, since it produces a cooling power of 228 kWt. This power is dissipated; through the sewage exchanger, and the temperature of that water flow rises 4.3 °C and a final temperature of 11 °C is obtained. This water flow of 45.64 m³/h heated to 11 °C is again introduced into the cooler.

The pump in its low temperature hot bulb (heat dissipater) produces a water flow of 47.25 m³/h (24) at 35 °C (21),

since it produces a calorific power of 274.75 kWt. This power is provided to the installation, so the water temperature decreases by 5 °C (23) and the temperature that again enters the cooler to be heated is 30 °C.

The heat pump in its hot focus at high temperature (heat recovery unit) produces a water flow of 41.45 m³/h at 55 °C, since it produces a calorific power of 241.00 kWt. This power is provided to the installation, so water temperature decreases by 5 °C and the temperature that again enters the cooler to be heated is 50 °C.



Thermal Power max. Produced:
275 KW
Thermal Power Existing boilers:
396 KW

The antilegionella treatment of the ACS (70 °C) and the heat for the dehumidifier will be resolved with the support of the gas boilers

Figure 11: Application of heat recovered to the heating of the pool and to the production of ACS. The anti-legionella treatment of the ACS (70 °C) and the heat for the dehumidifier will be resolved with the support of the gas boilers. Source: Eneres.

3.3. EXECUTION OF THE WORKS OF THE EXCHANGER AND CONNECTION TO THE CDM

There were two different phases in the execution process:

1. Accurate calculation of Exchange performance parameters:

- ◆ Construction of Access well.
- ◆ Water Diversion Works.

- ◆ Communication between well and technical room.
- ◆ Communication between technical room in and the room of CDM installations.

2. Technical facilities and equipment, to be implemented in:

- ◆ The public sewer collector gallery.
- ◆ The connection ditch to the technical room.
- ◆ The technical room of the Municipal Sports Centre.

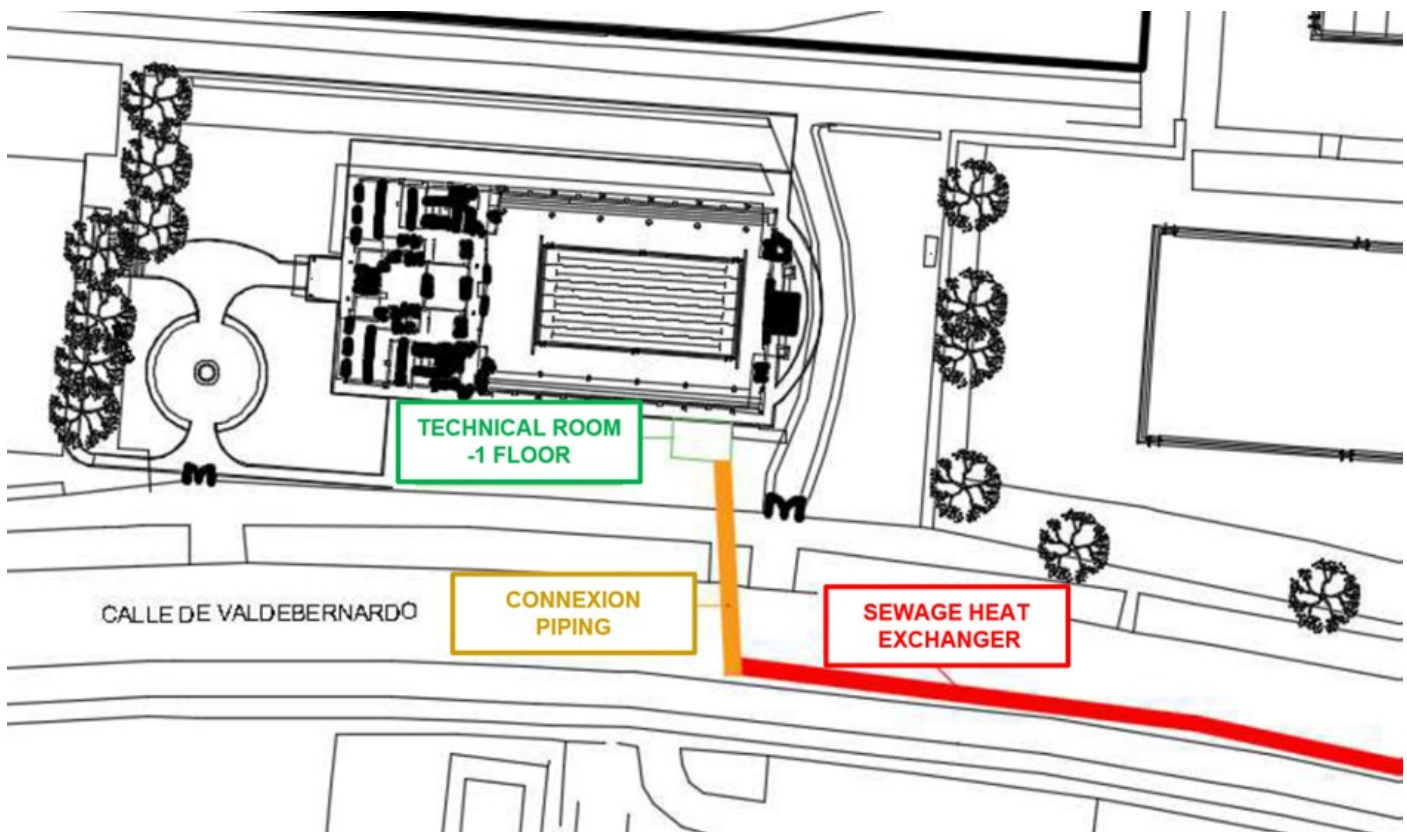


Figure 12: Phases and locations of execution of the civil works and equipment implementation, necessary for the installation of the exchanger in the collector and the connection to the technical room of the swimming-pool. Source: Eneres.

The installation works began with the construction of an access well for personnel and equipment, the materials for the works and the sections of the heat exchanger. Two temporary "dams" at the ends of the section where the exchanger were installed, and a pumping installation, which allowed to work "dry" without interrupting the operation of the collector.

First of all, we ensured that the horizontal area provided for the exchanger's installation along the gallery, planned for the execution of the works, was dry, to allow the assembly of the exchanger sections. To do this we installed a gallery bypass for waste water, that operated during the period of execution of the works, estimated in 36 days. (Figure 12).

The installation of the bypass system included special equipment:

- ◆ 7 HP Sewage bilge pumps.
- ◆ 3 "Hose for pump 7 CV, 300 ml.
- ◆ 1 Generator of 20 kvass, with hose and earthing.

- ◆ Execution and subsequent removal of the brick temporary dams, of 0.5 m. height.

Once all the works have been completed, connection trench work began, through the street and also inside the sports center.

The introduction of the exchanger sections, 48 sections of 3m in length, is a delicate and laborious operation. From the transport vehicle that carries each section, it is hanged and introduced down vertically through the well, pivoting in the area of junction with the Collector's gallery, and then placed in its definitive location along the gallery. (Figure 13).

From the access well, the connection of the exchanger runs to the cold focus of the heat pump into the technical room of the sports center.

The connection is made with two conduction pipes, Figure 15b , that will run up the well from the level of the sewage collector, located at a depth of 11.5 m to the surface. From the top of the well to the technical room where the heat pump is located



Figure 15b: Connection installation between the Interchanger integrated in the municipal collector and the technical room of the indoor pool. Source: Eneres.

the connecting pipes run through a ditch that passes directly through the wall of the technical room and crosses it to connect directly with the conduits of liaison with the adjacent heat pump. (Figure 14).

4. CONTROL SYSTEM

The control system allows monitoring and operation of the system and its integral management. It is based on industrial PLC, programmed in language of function blocks and equipped with communication by BUS (Industrial Ethernet Profibus) and Web server of Communications and liaison (Figure 16).

There are 2 differentiated control modules, communicated with each other by means of a connecting Bus (Industrial Profibus Ethernet) made in cable of 4 pairs twisted in helicoid CAT6.

The connection of data between them is solved with a switch of 4 ports (router if it has own network in sports Center with fixed IP) of general purpose, so that its maintenance is very low and easy its replacement in case of breakdown.

This equipment has a wireless connection system WSP that

allows access to it by means of 2 keys (Network and own PLC) that is designated by the person in charge of the maintenance at the moment of the start up, and that they are registered in the documentation of the Project relating to control chapter.

Also, a digital copy of the program, hosted on the equipment was attached so that its replacement, repair and modification can be carried out by any technician with familiarity with the handling and programming of these kind of control and management equipment. For data security reasons, the reading/recording of data and records will be protected by key designated at the time of the installation start-up.

Each of these modules is housed in an independent control Panel IP65, located in the engine room itself to be controlled (one in the new room of the heat pump and the remaining in the old boiler room existing), near the elements to be controlled/ Monitor to minimize distortions and interference due to cable length.

All monitoring/control communications will be made with halogen-free shielded cable with drainage wire, regardless of the signal they drive, thus ensuring a homogeneity in the installation and the highest standard of quality in the Wiring/connection.

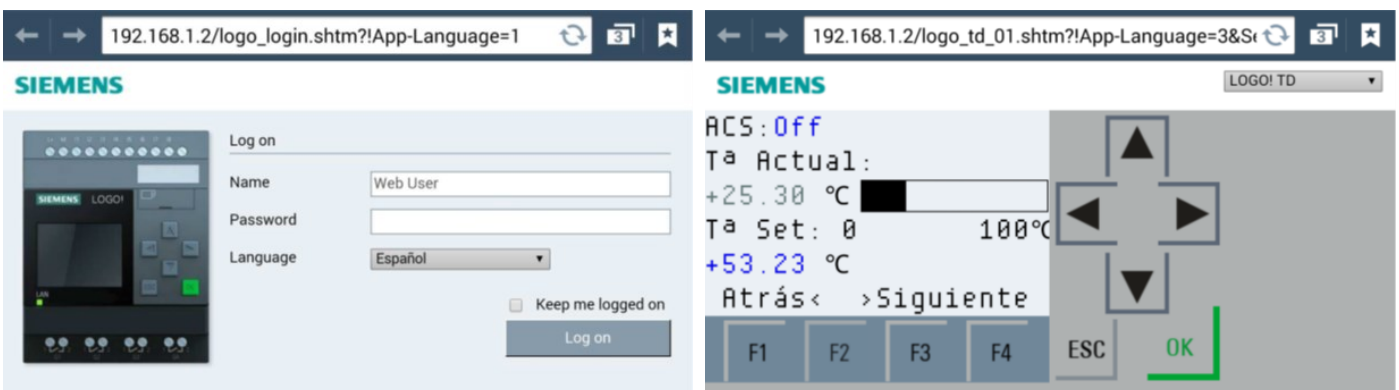


Figure 16: User interface of the control system that allows the integrated management of the system. Source: Eneres.

5. CONCLUSIONS

5.1. BALANCE OF EMISSION REDUCTION

The performance coefficient of the system, is high because of the optimized balance between source and production temperatures. As we are working with continuous and renewable sources, the reduction of gas consumption is very important and also the reduction of emissions. (Figure 17).

5.2. BALANCE OF ENERGY CONSUMPTION REDUCTION

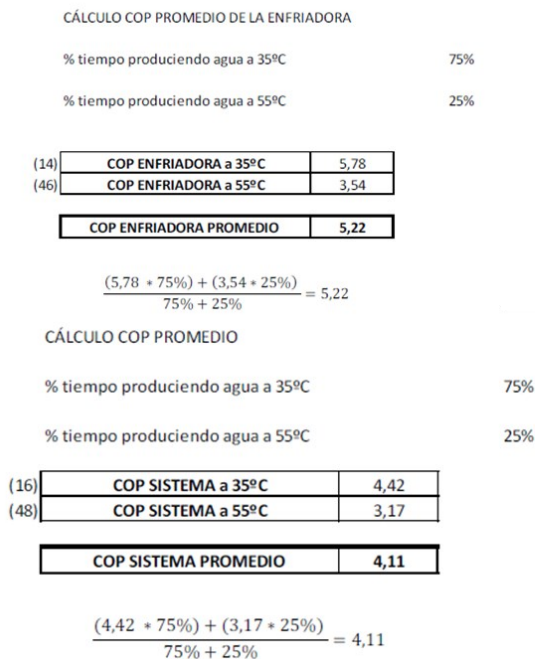
The economic saving that derives from the efficiency of the new hybrid system, compared to the existing system of heat production is very important, almost 40%. Moreover, if we consider that the installation carried out can, without any problem, provide service to other facilities not only

demanding of heat but also of refrigeration, by the very nature reversible of the system of exchange with the sewage. (Figure 18).

5.2. HYBRIDIZATION OF SYSTEMS FOR EFFICIENCY.

The hibricacion of systems, the progressive incorporation to existing buildings and energy systems of technical resources and new modes of management that allow to take advantage of residual and renewable energy sources is an emergent field of enormous relevance.

The performance carried out at the Municipal Sports Centre in Moratalaz, CDM, has shown the possibility of intervening progressively in the energy systems of buildings that have a very high consumption of resources and to incorporate three types of lines of Efficiency:



COP del Sistema	4,11
kg CO2 / kWt h producidos con electricidad	0,357

	ACS	toneladas de CO2 producidos con electricidad anualmente
Demanda E térmica [kWt h/año]	507.251,45	44,05
Demanda de E eléctrica [kWe h/año]	123.390,36	
Demanda E térmica restante [kWt h/año]	338.167,64	
E térmica producida por las calderas para cubrir esa demanda [kWt h/año] (considerando rto caldera)	384.281,41	78,39
TOTAL TONELADAS DE CO2 PRODUCIDAS CON BOMBA DE CALOR E INTERCAMBIADOR AGUAS RESIDUALES + APOYO CALDERAS DE GASOIL		122,44

TONELADAS DE CO2 PRODUCIDAS ANTES DE IMPLANTACIÓN NUEVO SISTEMA	195,98	100,00%
TONELADAS DE CO2 PRODUCIDAS TRAS DE IMPLANTACIÓN NUEVO SISTEMA	122,44	62,48%
TONELADAS DE CO2 EVITADAS TRAS DE IMPLANTACIÓN NUEVO SISTEMA	73,54	37,52%

Figure 17: Balance of the emission reduction of the integrated system. Source: Eneres.

- ◆ Systems and technology for the recovery of residual and renewable energy in the next environment of the CDM installations.
- ◆ Efficient systems and technology for the utilization of the recovered resources thermal conditioning of the CDM.
- ◆ Progressive improvement of monitoring and efficiency management through control devices appropriate to these strategies.

As indicated earlier in the CDM, there is an important untapped potential to increase the performance of the facilities performed and the energy resources recovered, and also an important potential for improvement with other renewable sources of Energy that are present in that location:

- ◆ Use of the resource of thermal exchange with wastewater to feed the refrigeration systems of sports halls, gymnasiums and offices. This can be used directly by the installed heat pump and exchange systems, and the

recovery of the residual "cold" from the water heating process.

- ◆ Integrate night-free cooling systems that take advantage of the thermal amplitude of Madrid's climate.
- ◆ Incorporate thermal resources from solar thermal uptake.
- ◆ Working in the integration of control systems, monitoring and management.
- ◆ Incorporating efficient, moderate-temperature systems for efficient heating and cooling.

If the performance in the CDM of Moratalaz has obtained notable results in the reduction of emissions and the reduction of energy consumption, it has also shown that hybridization of energy thermal systems can be a progressive and continuous process of improvement, in a planned basis, that, without Disrupting the use and service of buildings and infrastructures will propel them to levels of excellence in efficiency and quality of service.

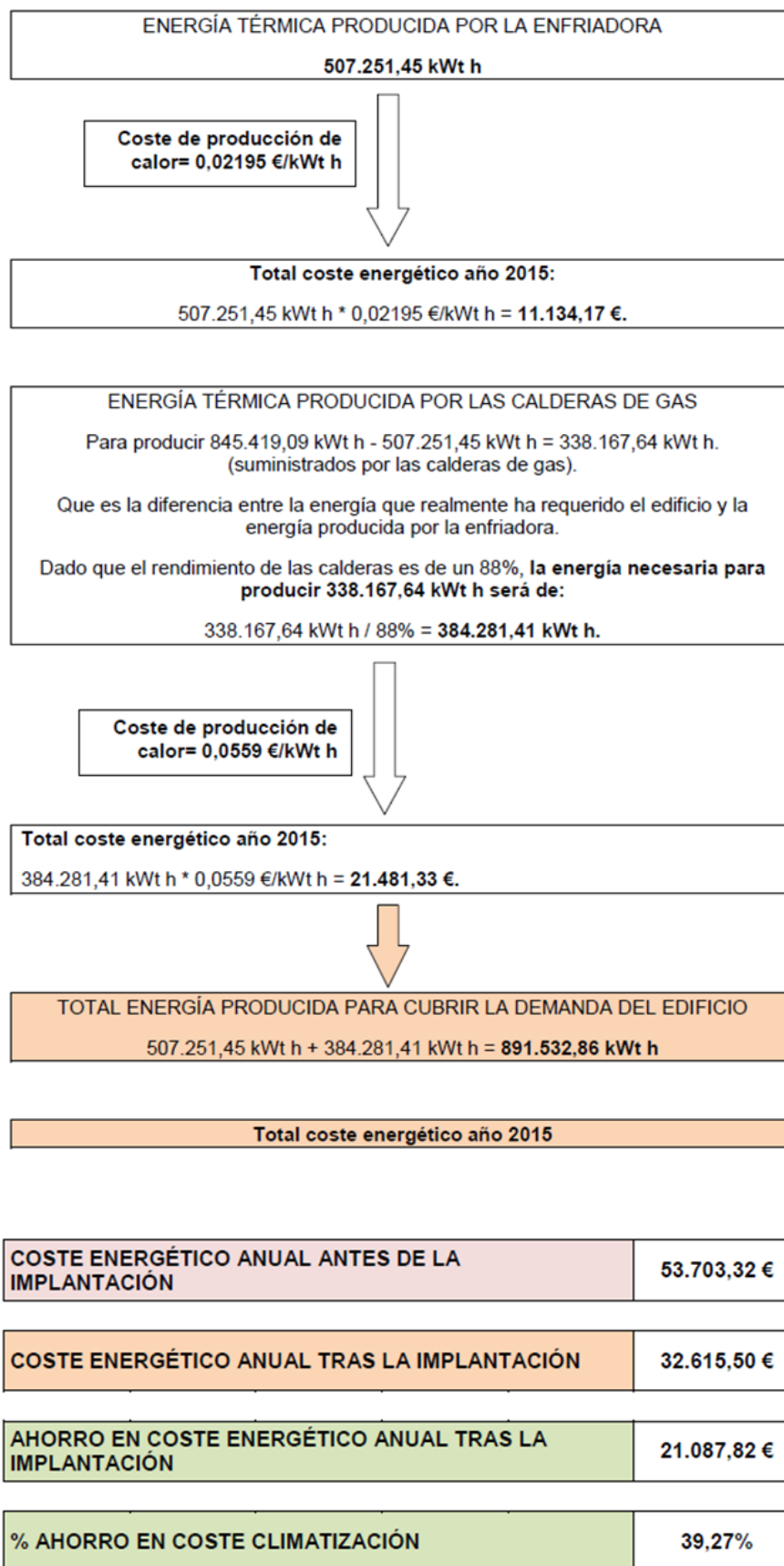


Figure 18: Balance of economic savings resulting from residual energy recovery and system hybridization. Source: Eneres.

7. REFERENCES

- [1] L. De Pereda et Alt, "Guía sobre aprovechamiento energético de infraestructuras subterráneas", Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.
- [2] Guidebook to IEA ECBCS Annex 37. Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings. Edited by Mia Ala-Juusela, VTT, Finland. 2003
- [3] Paola Pulido Barrera, Jesús Rosales Carreón*, Hugo J. de Boer 2016. "A multi-level framework for metabolism in urban energy systems from an ecological perspective". Department of Innovation, Environmental and Energy Sciences, Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands, 2018.
- [4] Rueda, Salvador. EL URBANISMO ECOLÓGICO. 2018.
- [5] Andrea Ramirez. "Why sustainable management of the subsurface needs a feminine touch" Copernicus Institute, November 2015
- [6] Beat Kobel, Yann Roth, Ryser et Alt. "Heizen und Kühlen mit Abwasser" Baudirektion Kanton Zürich. 2010.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Building & Management is an open access scientific e-journal promoted by the School of Building Engineering (ETSEM) of the Universidad Politécnica de Madrid (UPM) and published every four months, three times a year, March, July and November. It aims at the dissemination of high quality original works related to the management of processes associated to buildings, in any phase of their development, where various agents in the sectors of architecture, engineering and construction participate.

1. JOURNAL AIMS AND SCOPE

Topics of interest include all the theoretical, methodological and/or practical advances, in building management --one or several processes-- within any life phase of the building. These could be developed at the academic or professional level.

This magazine is addressed to all the interveners of the building sector. For its better diffusion title, abstract, highlights and keywords of the articles will be published in English and Spanish, and the body is allowed in both languages. English is preferred.

The content will consist primarily of original research manuscripts. However B&M is also open to the publication, always within the scope of the magazine, of: review articles, technical reports, best practices, conference papers, fast-track communications, letters to the editor, states of the art and book reviews. Academic-scientific content must prevail in all occasions.

2.2 BLINDED PEER-REVIEW PROCESS

The Editorial Board of the magazine, after verification that the article complies with the rules on style and content indicated in the guidelines for authors, sent the text, as double-blind model, to two anonymous external expert reviewers within the specific field, for its evaluation, or to a third if necessary.

Authors will be informed about the initial acceptance or rejection within a month. The evaluation will focus in the interest of the article, its contribution to knowledge of the subject treated, the contributed novelty, the established relationships, critical judgment, developed content, structure, use of bibliographic and references that are handled properly, wording, etc. Indicating recommendations for its possible improvement.

Based on the recommendations of the reviewers, the Editorial Board will inform authors the reasoned result of reports by email, at the address they have used to send the article. The revision process lasts approximately three or four months, without any cost for authors. The Editorial Board will communicate the result to the principal author of the review (published unchanged, with minor corrections publication, publication with important fixes, not suitable for publication).

Building & Management es una publicación de gestión en Edificación de la Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Se trata de una revista digital científica abierta con periodicidad cuatrimestral (marzo, julio, noviembre), que tiene como primer objetivo la divulgación de trabajos originales sobre gestión de los procesos vinculados a la edificación, desarrollados por los sectores de la Arquitectura, Ingeniería y construcción en cualquiera de las fases del ciclo de vida del edificio.

1. TEMÁTICA Y ALCANCE DE LA REVISTA

Los temas de interés incluyen todos los avances teóricos, metodológicos y/o empíricos, a nivel académico o profesional, en la gestión de uno o varios procesos dentro de cualquiera de las fases de vida del edificio.

Esta revista va dirigida a todos los agentes del sector de la edificación. Para su mayor difusión el título, resumen, titulares y las palabras clave de los artículos se publican en inglés y en español y el cuerpo del artículo se admite en ambos idiomas dando preferencia al inglés.

El contenido estará formado fundamentalmente por artículos científico-técnicos originales, no obstante, de igual forma y siempre dentro del ámbito de alcance de la revista, B&M también está abierta a la publicación de: artículos de revisión, informes técnicos, buenas prácticas, comunicaciones en congresos, comunicaciones cortas, cartas al editor, estados del arte y reseñas de libros. En todos los casos deberá primar el contenido científico académico, ajustándose al formato de este tipo de publicaciones.

2.2 REVISIÓN POR PARES DOBLE CIEGO

Los trabajos presentados serán sometidos a una revisión inicial por parte del comité editorial. Los autores de los manuscritos enviados serán informados de la aceptación inicial para su revisión o del rechazo de su artículo en el plazo de un mes de la recepción del mismo.

Si sus contenidos son adecuados serán enviados para una revisión por pares realizada por expertos independientes y de reconocido prestigio, y por un tercero en caso necesario, ajustándose a los protocolos de publicaciones científicas seriadas. Los evaluadores serán seleccionados por el Comité de Redacción en función de su trayectoria investigadora.

Las revisiones por pares se realizarán por un test de doble ciego gestionado online. La valoración incidirá sobre el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades aportadas, las correctas relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, la estructura del contenido, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

If the manuscript has been accepted with modifications, authors should resubmit a new version of the article, following demands and suggestions of the external evaluators. If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

Articles with significant corrections may be sent back to blind peer review to verify the validity of changes made by the author.

Considering the degree of compliance with changes requested, the Board shall decide whether or not the publication of the article. This decision shall be communicated to the author by the Editorial Board and in case of publication the manuscript will be dated as accepted.

3. SUBMITTING A MANUSCRIPT

3.1. FORMAT

Building & Management is an open access publication. Articles will be published online in PDF format, and will be available for free to readers immediately after publication online, without any restriction, at the following electronic address: http://polired.upm.es/index.php/building_management/

The Universidad Politécnica de Madrid reserves the right to distribute the complete numbers as an electronic book for its sale, either in PDF format, ePub or in any other electronic possible format, now or in the future, and / or paper format in print on demand. These alternative formats will have identical content and will be subject to the same copyright as the individual articles in the digital edition, and will be considered equivalent for all purposes.

3.2. SUBMITTING PROCESS

All manuscripts will preferably be written in English or Spanish. Submitted manuscripts will undergo a reviewing process, starting with a linguistic review. Manuscripts with a poor quality in this regard will be returned without evaluation. The submission of a manuscript implies that all co-authors have approved and accepted the content of the submitted text, tables, graphic material and any other complementary material supplied. The corresponding author will be responsible for all the co-authors to correct information about the manuscript. All submissions must be accompanied by a signed letter stating the originality and unpublished nature of the content of the manuscript, and their assurance that it has not been simultaneously sent to another publication for its evaluation. The letter can be downloaded at <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

El consejo editorial decidirá si el manuscrito es aceptado o rechazado basándose en los informes y recomendaciones de los evaluadores externos. El proceso de evaluación tiene normalmente una duración aproximada de entre tres y cuatro meses y no tiene ningún coste para los autores. Todos los informes de evaluación se enviarán a los autores, manteniendo el anonimato (publicación sin cambios; publicación con correcciones menores; publicación con correcciones importantes; no aconsejable para su publicación). En el caso de la aceptación del artículo, los autores deberán considerar los comentarios realizados por los evaluadores y volver a enviar el trabajo con los cambios oportunos. El proceso de revisión se repite, manteniendo el anonimato. En caso que la segunda revisión de los evaluadores sea de nuevo favorable, será probable que el artículo se acepte para su publicación definitiva. Cuando ésta se produzca, al trabajo se le asignará una fecha de aceptación.

3. ENVÍO DE MANUSCRITOS

3.1. FORMATO

Building & Management es una publicación en línea de libre acceso. Los artículos serán publicados en línea en formato PDF, y estarán disponibles de forma gratuita para los lectores inmediatamente después de su publicación en línea, sin ninguna restricción en la siguiente dirección electrónica: http://polired.upm.es/index.php/building_management/ La Universidad Politécnica de Madrid se reserva el derecho de distribuir para su venta los números completos como libro electrónico, ya sea en formato PDF, ePub o en cualquier otro formato electrónico posible en el presente o en el futuro, y/o en formato papel en impresión bajo demanda. Estos formatos alternativos tendrán un contenido idéntico y estarán sujetos a los mismos derechos de autor que los artículos individuales en la edición digital, y serán considerados equivalentes a todos los efectos.

3.2. ENVÍO DE MANUSCRITOS PARA SU EVALUACIÓN Y APROBACIÓN

Los manuscritos estarán redactados preferentemente en Inglés o Español. Los manuscritos enviados serán revisados en primer lugar desde el punto de vista lingüístico. Los manuscritos con un nivel de calidad deficiente en este aspecto serán devueltos sin ser evaluados. El envío de un manuscrito implica que todos los coautores han aprobado y aceptado el contenido del texto remitido, las tablas, el material gráfico y cualquier otro material complementario suministrado. El autor designado como persona de contacto será responsable de que todos los coautores dispongan de información correcta sobre el manuscrito enviado. Todos los envíos deberán ir acompañados de una carta firmada indicando el carácter original e inédito del contenido del manuscrito, y que el mismo no ha sido enviado simultáneamente a otra publicación para su valoración. La carta se puede descargar en <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

3.3. MANUSCRIPT

To help authors to prepare the manuscripts a standard template can be downloaded at http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. MANUSCRIPT DELIVER AND ACCEPTANCE

All proposed contents will be related to the objectives of the journal and will have to adhere to the rules contained in the following sections. Manuscripts will be sent to the following email address: bm.edificacion@upm.es. Papers will be written in Spanish or English. Manuscripts should be between 6000 and 8000 words in length, including abstract, key words, highlights, references, etc. Each table or figure will be considered equivalent to 200 words. And before we can accept a manuscript, B&M requires Open Researcher and Contributor ID (ORCID) information for every author on the paper.

3.5. MANUSCRIPT ADMISSION

All manuscripts received will be evaluated through a double-blind system. Suggestions will be sent to the authors to make the necessary modifications. Only original manuscripts that have not previously been published in other journals will be accepted.

3.6. TITLE

The title should be concise, informative, meaningful to the whole readership of the journal and will be written in English and Spanish. The name and surname of the author(s) and the company, university or research center, as well as the e-mail address, will be indicated below.

3.7. ABSTRACT

The articles will include a summary in English and Spanish (between 200 and 300 words) that clearly state the objectives, the approach and conclusions of the research.

3.8. KEYWORDS AND HIGHLIGHTS

Between 4 and 6 keywords in Spanish and English will be included, as well as 3 to 5 headlines (phrases that define the most important issues of the article, with no more than 85 characters each, spaces included).

3.9. PRODUCTION AND SUBMISSION

Writing clear, concise sentences. Proposals will be sent to the e-mail address bm.edificacion@upm.es in electronic format. The text will be sent in a file in .doc format, including the images in the desired place. Articles will be accepted in English and Spanish. When the text is written in English, Sending either the title or the abstract in Spanish will not be necessary.

3.3. PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Para ayudar a los autores en la preparación de sus manuscritos existe una plantilla que se puede http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. ENVÍO Y ACEPTACIÓN

Los trabajos para publicar estarán relacionados con los objetivos de la revista y tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados, debiendo enviar los trabajos a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es. Los trabajos se redactarán en español o en inglés, con una extensión entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, titulares, referencias, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una. Todos los autores deben aportar su identificador digital ORCID.

3.5. ADMISIÓN DE ORIGINALES

Todos los originales recibidos serán evaluados mediante el sistema de doble ciego cuyas sugerencias se enviarán a los autores para que realicen las modificaciones pertinentes. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente en otras revistas.

3.6. TÍTULO

El título de los trabajos será conciso e informativo y expresará su contenido, en inglés y en español. Seguidamente se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y dirección de correo electrónico.

3.7. RESUMEN

Los artículos deberán ir acompañados de un resumen en inglés y en español (entre 200 y 300 palabras) que con toda claridad señale los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo.

3.8. PALABRAS CLAVE Y TITULARES

Se incluirán entre 4 y 6 palabras clave en inglés y en español, así como 3 a 5 titulares (frases que definen lo más importante del trabajo, con no más de 85 caracteres incluyendo espacios cada una).

3.9. REDACCIÓN DEL TEXTO Y PRESENTACIÓN

La redacción será clara y concisa. Los trabajos se enviarán a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es en formato electrónico. El texto se enviará en un archivo en formato Word, incluidas las imágenes en el lugar deseado. Los trabajos se admitirán en inglés y en español. Cuando el texto esté redactado en inglés, no será necesario mandar ni el título ni el resumen en español.

3.10. REFERENCES

References must be limited to those indispensable that are directly related to the article's content. Citations in the text and references will meet the IEEE standard format. There should be no less than 25 references and at least 30% of them from the last 4 years.

The DOI (Digital Object Identifier) should be incorporated into every reference for which it is available.

♦ Books

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, *Multidimensional Systems*, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Journal articles

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Technical report

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Master End Project or PhD thesis

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLES, FIGURES AND GRÁPHICS

The number of tables and figures should be limited by sending only those that are really useful, clear and representative. They will be numbered correlatively according to the quotation in the text and each one will have its caption. They will be placed in the right place of the text.

Tables and figures should be designed in Word or Excel, so that they are visible when conforming to the format of 8.8 cm (width of 2 columns) presenting a good contrast so that they do not lose quality with the reduction. If necessary, once the article has been accepted, the journal may ask the corresponding author separately for tables and figures with better resolution. Sources must be included, when necessary, for tables, figures.

The resolution of pictures should not be less than 300 dpi (dots per inch). If the size of the final file is too large (more than 10 MB), then the manuscript should contain the figures with minimized resolution, and the original figures must be

3.10. REFERENCIAS

Las referencias deberán reducirse a las indispensables que tengan relación directa con el trabajo enviado. Las citas en el texto y las referencias consignadas seguirán el formato IEEE. Se propone un número de citas no inferior a 25, con el 30% de las mismas publicadas en los últimos cuatro años.

Siempre que la publicación citada disponga de DOI, será necesaria su incorporación en la referencia bibliográfica.

♦ Libros

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, *Multidimensional Systems*, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Artículos de revistas científicas

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Informes técnicos

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Trabajo fin de máster o tesis doctoral

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

El número de tablas y figuras deberá limitarse en lo posible enviando sólo las que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto y cada una tendrá su pie explicativo. Se colocarán en el lugar adecuado del texto.

Las tablas y figuras deben ser diseñadas en Word o Excel, de forma que sean visibles al ajustarse al formato de 8,8 cm (ancho de 2 columnas) presentando un buen contraste de forma que no pierdan calidad con la reducción. En caso de ser necesario, una vez aceptado el artículo, la revista podrá volver a solicitar tablas y figuras por separado y con mejor resolución. En las tablas, figuras e imágenes que no sean del autor se deberán citar las fuentes.

La resolución de las imágenes no será inferior a 300 puntos por pulgada. Si el tamaño del archivo final es demasiado grande (superando los 10 MB), si el artículo es aceptado, se enviará el manuscrito conteniendo en su posición las figuras

provided in separate files, if the article is accepted.

3.12. FORMULAS AND EQUATIONS

Formulas should be inserted and not embedded as an image in the Word document at all. They will be numbered in parentheses in correlative order, following the text citation order, done using the same notation.

3.13. LAYOUT

Authors will receive a layout PDF proof that should be reviewed within a maximum period of three days. Modifications of the original text will not be accepted during the proofreading.

3.14. CHECKLIST BEFORE SUBMITTING

As part of the submission process, authors are required to indicate that their submission complies with all of the following elements, and to accept that submissions that do not comply with these guidelines may be returned to the author.

1. The submission has not been previously published nor been reviewed simultaneously by another journal (Or an explanation has been provided in "Comments to the editor").
2. The file sent is in Word format.
3. The template available on the journal's website has been used and the rules set out have been followed.
4. The authorship declaration is being signed by the author and all the coauthors and attached with the manuscript file in the submitting e-mail to the Editor to bm.edificacion@upm.es
5. The text meets the bibliographic and style requirements indicated in the template available on the journal's website.
6. Description of the last check that must be made before sending the article, in order to avoid the most common errors:
 - ◆ There is a list of the names of all the authors using superscript numeric identifiers to link an author with an address and institution where necessary.
 - ◆ It can be find the institution followed by the full postal addresses (including e-mail) of every author.
 - ◆ Title, abstract, highlights and Keywords are included in English and Spanish.
 - ◆ The main text has 6000 to 8000 words, including abstract, keywords, etc., and also figures and graphics with an equivalence of 200 words for each.
 - ◆ The abstract has 200 to 300 words.
 - ◆ It has 4 to 6 Keywords and It has been selected 3-5 highlights with the main information of the manuscript, each

con una resolución inferior y se aportarán las figuras con máxima resolución en archivos independientes.

3.12. FÓRMULAS Y/O EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Deberán insertarse en el propio documento Word y en ningún caso incrustado como imagen. Se numerarán entre paréntesis por orden correlativo, siguiendo el orden de la citación en el texto, que utilizará las misma nomenclatura.

3.13. PRUEBAS

Se enviará a los autores la prueba de maquetación en PDF que deberá ser revisada en un plazo máximo de tres días. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

3.14. LISTA DE COMPROBACIÓN DE PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni está dentro del proceso de revisión de otra revista (o se ha proporcionado una explicación en "Comentarios al editor").
2. El fichero enviado está en formato Word.
3. Para la redacción del manuscrito se ha utilizado la plantilla disponible en la web de la revista y se han seguido las normas expuestas.
4. Se junta, junto al artículo, el formulario de declaración de autoría disponible en la página web de la revista debidamente relleno y firmado a la dirección de email bm.edificacion@upm.es
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Descripción de la última comprobación que debe realizarse antes de enviar el artículo, con el fin de evitar los errores más comunes:
 - ◆ Aparecen los autores con nombres y apellidos o declaración de autor institucional, utilizando el identificador numérico para cada autor.
 - ◆ Aparece la entidad a la que está adscrito el autor o los autores y sus datos de contacto (incluido e-mail).
 - ◆ Se ha expresado el título, el resumen, las palabras claves y los titulares, en español y en inglés.
 - ◆ El número de palabras es de entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una.
 - ◆ La extensión del resumen se adecua a las normas de

- ◆ Tables, diagrams and figures are entered in a borderless text box, including inside the figure caption in the lower part the table foot and are placed and cited in the text in consecutive numerical order
- ◆ The list of references are made according to the reference requirements of the Journal, and at least the 30% of them are dated in the last four years.
- ◆ Authors' short biography with 50 to 75 words is included.
- ◆ The author has the permission to use the material with rights of another author, even if it is in the Web.

Any inquiry regarding the submission of the article can be resolved in the first instance on the website of the magazine. For other inquiries, the magazine contact email is available: bm.edificacion@upm.es

4. COPYRIGHT

The originals of Building & Management magazine are property of the Universidad Politécnica de Madrid, being necessary to cite the origin of any partial or total reproduction.

All the original articles published in Building & Management are subject to discussion and comments from our readers. Opinions should be sent to the journal's email address, within a period of three months, starting from the date of publication.

Authors retain the copyright of the papers and ensure B&M the right to have a Creative Commons license, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), that allow others to share the article within an author recognition and non commercial use.

Authors can also establish independently additional agreements for the not exclusive distribution of the article published versión in the e-journal (as, for example, to place it in an institutional repository or to publish it in a book).

Unless otherwise indicated, all contents of the electronic edition of Building & Management are distributed under a Creative Commons license and distribution.

5. PRIVACY STATEMENT

The personal data provided to in this journal will be used exclusively for the purposes stated by Building & Management and will not be available for any other purpose or another person.

- ◆ El número de palabras clave son entre 4 y 6, y los highlights entre 3 y 5 con 85 caracteres incluidos espacios.
- ◆ Todas las tablas y figuras están insertadas en cuadros de texto, con su correspondiente leyenda, en la parte inferior de las mismas.
- ◆ Todas las referencias citadas en el texto, están referenciadas al final del artículo y viceversa. Y se nombran en orden de aparición.
- ◆ Todas las referencias están en el formato adecuado y el 30% de las mismas están fechadas en los últimos 4 años.
- ◆ Incluye el perfil académico y profesional del autor/es (entre 50 y 75 palabras)
- ◆ El autor dispone del permiso para usar el material con derechos de otro autor, incluso si está en la Web.

Cualquier consulta relativa a la presentación del artículo, puede resolverse en primera instancia en la página web de la revista. Para otras consultas, se dispone del correo de contacto de la revista: bm.edificacion@upm.es

4. NOTA DE COPYRIGHT

Los originales de la revista Building & Management, son propiedad de la Universidad Politécnica de Madrid, siendo necesario citar la procedencia de cualquier reproducción parcial o total.

Todos los artículos originales que se publican en Building & Management quedan sometidos a discusión y al comentario de nuestros lectores. Las opiniones deben enviarse a la dirección de correo electrónico de la revista, dentro del plazo de tres meses, contados a partir de la fecha de su publicación.

Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a la revista el derecho de una licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), que permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría y uso no comercial.

Los autores pueden establecer por separado acuerdos adicionales para la distribución no exclusiva de la versión de la obra publicada en la revista (por ejemplo, situarlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro).

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica Building & Management se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons.

5. DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.



TOPICS COVERED BY B&M

Case studies
 Due diligence
 Licence management
 Risk assessment management
 Documentation procurement
 Communication and information management: ICT, Big data, Construction 4.0
 Management of bill of quantities, estimation, analysis and costs control
 Project monitoring
 Deadline management
 Economic, financial, equipment and human and material resources management
 Technical planning management
 Management of strategic planning
 Design management
 Management and control of changes and coordination of activities
 Management of production planning and programming
 Contracts and construction management
 Advanced techniques of construction management
 Process management in building, control and process improvement techniques
 Management of occupational risk prevention and health & safety
 Regulatory management and quality control
 Environmental management
 Management of waste and polluted soils
 Water management
 Materials management
 Energy management
 Other resources management
 Building heritage management
 Management of conservation, maintenance and exploitation
 Facilities management
 Building Management systems
 Sensoring, monitoring and control
 Audit of management systems
 Energy Audit
 Assessment of environmental impact plans, programs and projects
 Energy and environmental certification
 Implementation of environmental management systems
 Management of hygrothermal comfort
 Management of acoustic comfort
 Indoor air quality management
 Accessibility Management
 Diagnosis and methodology
 Intervention criteria
 Reuse
 Territory management
 Urban planning
 Management of environmental resources
 Air quality
 Training for management
 Research in construction
 Integrated project management
 Real estate assessments
 Judicial appraisal
 Management of social matters

LÍNEAS DE PUBLICACIÓN DE B&M

Casos de estudio
 Due diligence
 Gestión de las licencias
 Gestión del análisis de riesgos
 Gestión de la documentación
 Gestión de la comunicación y de la información: TIC, Big data, Construcción 4.0
 Gestión de las mediciones, estimación, análisis y control de los costes
 Monitorización de proyectos
 Gestión de plazos
 Gestión económica, financiera, de equipos y de los recursos humanos y materiales
 Gestión de la planificación técnica
 Gestión de la planificación estratégica
 Gestión del diseño
 Gestión y control de cambios y coordinación de las actividades
 Gestión de la planificación de la producción y programación
 Gestión de la contratación y de las obras
 Técnicas avanzadas de gestión de la construcción
 Gestión del proceso en edificación, técnicas de control y mejora de procesos
 Gestión de la prevención de riesgos laborales y seguridad e higiene
 Gestión de normativa y control de la calidad
 Gestión medioambiental
 Gestión de residuos y de suelos contaminados
 Gestión del agua
 Gestión de los materiales
 Gestión de la energía
 Gestión de otros recursos
 Gestión del patrimonio edificado
 Gestión de la conservación, el mantenimiento y explotación
 Gestión de las instalaciones
 Los sistemas de gestión en el edificio
 Sensorización, monitorización y control
 Auditoría de sistemas de gestión
 Auditoría energética
 Evaluación del impacto ambiental de planes, programas y proyectos
 Certificación energética y medioambiental
 Implantación de sistemas de gestión ambiental
 Gestión del confort higrotérmico
 Gestión del confort acústico
 Gestión de la calidad del aire interior
 Gestión de la accesibilidad
 Diagnóstico y metodología
 Criterios de intervención
 Reutilización
 Gestión del territorio
 Planificación urbanística
 Gestión de recursos del entorno
 Calidad del aire
 Formación para la gestión
 Investigación en edificación
 La gestión integrada de proyectos
 Valoraciones inmobiliarias
 Pericia judicial
 Gestión de los aspectos sociales

