



# perfiles de INGENIERÍA

Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma

CIVIL

ELECTRÓNICA

INDUSTRIAL

INFORMÁTICA

MECATRÓNICA



ACREDITADA



ISSN versión impresa: 1996-6660

ISSN versión online: 2519-5719

Volumen 19, N° 19, enero-junio 2023

Lima-Perú

*"Malos testigos para los hombres son los ojos y los oídos cuando las almas son bárbaras"*

*Heraclito*

# PERFILES DE INGENIERÍA

Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma  
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-1985  
ISSN Impreso 1996-6660 1 ISSN online 2519-5719 <https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria> Volumen XIX,  
N° 19, Enero-Junio 2023, Lima-Perú

La revista perfiles de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo palma tiene carácter multidisciplinario, y busca difundir investigaciones, proyectos y buenas prácticas del desarrollo de la ingeniería industrial, informática, civil, electrónica y mecatrónica. Está dirigida a jóvenes, docentes, profesionales y público en general interesados en el desarrollo científico y tecnológico comprometido con el desarrollo humano, y el cuidado y sostenibilidad de la vida en todas sus manifestaciones. Es de periodicidad anual. ISSN versión impresa.

## AUTORIDADES

### RECTOR

Dr. Iván Rodríguez Chávez

### VICERRECTOR ACADÉMICO

Dr. Félix Romero Revilla

### VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Dra. Sandra Negro Tua

### SECRETARIO GENERAL

Dr. Raúl Vidal Coronado

### DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Ing. Santiago Fidel Rojas Tuya

## CONSEJO DE FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Ing. Santiago Fidel Rojas Tuya	Decano
Mg. Miguel Sánchez Bravo	Secretario Académico
Dr. Carlos Sebastián Calvo	Miembro
Dr. Francisco Aguilar Vásquez	Miembro
Mg. Enriqueta Pereyra Salardi	Miembro
Mg. César Rivera Lynch	Miembro
Ing. Luis Cuadrado Lerma	Miembro
Sr. Joel Morales Ramírez	Estudiante
Sr. Renzo Huaracaya Bernates	Estudiante
Sr. Luis Olivos Vilca	Estudiante

## DIRECTORES DE ESCUELAS PROFESIONALES

Civil	Ing. Enriqueta Pereyra Salardi
Electrónica	Mg. Ing. -Julio César González Prado
Industrial	Mg. Ing. Víctor Thompson Schrelber
Informática	Mg. Ing. Eric Villanueva Gonzales
Mg. Mecatrónica	Mg. Ing. Demetrio Hugo Mandujano Neyra

## COMITÉ EDITORIAL

Editor general: Teresa Salinas Gamero.

Facultad de IngenieríaURP:

Editor responsable Escuela de Ingeniería CMI

URP: Esther Vargas Chang

Editor responsable Escuela de Ingeniería

Industrial URP: José Antonio Velásquez Costa.

Editor responsable Escuela de Ingeniería

Informática URP: Juana Segura.

Editor responsable Escuela de Ingeniería

Mecatrónica URP: Ricardo Palomares.

Vicerrectorado de Investigación: Gianine Tejada Salinas.

Todos los artículos serán sometidos a evaluación de expertos externos mediante et sistema de doble ciego.

## CONSULTA DIGITAL

[http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles Ingenieria](http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria)

Los puntos de vista expresados por los autores son de estricta responsabilidad de ellos y no necesariamente expresan la opinión del Comité Editorial. Por lo tanto, no se asume responsabilidad alguna por el contenido de cada artículo.

Todos los derechos quedan reservados por la Universidad Ricardo Palma. Se puede compartir, publicar, copiar y distribuir el contenido de esta revista con fines académicos no comerciales, siempre y cuando se reconozca y cite correctamente la fuente de origen.

La revista Perfiles de Ingeniería se distribuye gratuitamente y está disponible en texto íntegro en la web:

[http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles\\_Ingenieria](http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria)

Esta es una revista Open Access. Perfiles de Ingeniería proporciona un acceso abierto inmediato a su contenido para facilitar la lectura y su descarga. La reutilización está permitida bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



La revista Perfiles de Ingeniería se adhiere a las normas y códigos de ética internacionales establecidos por el Committee on Publication Ethics (Code of Conduct and Best Practices Guidelines for Journal Editors, COPE).

Todos los artículos presentados para la Revista Perfiles de Ingeniería pasarán por un sistema de detección de plagio a través de un software especializado (Turnitin) de forma rutinaria.

# ÍNDICE

<b>Editorial</b>	8
------------------	---

Teresa Salinas Gamero, Directora-Editora de la Revista.

<b>Mensaje del Rector</b>	11
---------------------------	----

Iván Rodríguez Chávez

<b>Presentación del Decano</b>	13
--------------------------------	----

Santiago Rojas Tuya

## INGENIERÍA CIVIL

<b>Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras la pandemia del Covid-19</b>	15
--	----

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila, Susana I. Dávila Fernández

<b>Comportamiento sismorresistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral</b>	55
---	----

Natalie Huerta de la Cruz, Eduardo Mayhuire Zuñiga, Esther Vargas Chang

<b>Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar "El Alcazar"</b>	67
--	----

Gustavo Salazar Achata, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

<b>Solución Geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la Villa Panamericana</b>	91
--	----

Marco Antonio Hernández Aguilar, Ronald Saúl Vega López

<b>Aprendizaje basado en problemas en el curso de Hidrología</b>	109
--	-----

Maiquel López Silva, Dayma Carmenates Hernández, Oscar Brown Manrique, Belarmino Guivala, Fernando Brazao Tembe

## **INGENIERIA ELECTRÓNICA**

### **Diseño de un modelo virtual con LabVIEW para simular el comportamiento de una Máquina Eléctrica Síncrona**

121

Alfonso Quispe Perez, Anderson Minaya Ticona, Juan Vela Gamboa, Kevin Lozano Rodríguez, Luis. Huamani Lagos, Margarita Murillo Manrique

### **Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID**

135

Neyra Fernández Ángel, Acosta Acho Jesús, Ricardo J. Palomares Orihuela

# ÍNDICE

## **Editorial**

Teresa Salinas Gamero, Journal Director-Editor of the journal

## **Message of Rector**

11

Iván Rodríguez Chávez

## **Presentation of Dean**

13

Santiago Rojas Tuya

## **CIVIL ENGINEERING**

### *Energy efficiency in the Neoplastic Hospital – Surquillo - Lima after the covid-19 pandemic*

15

Daniella v. Gálvez ramírez, Juan I. Huamán valdez, junior b.Salirrosas del águila, susana i. Dávila fernández

### *Earthquake resistant behavior in buildings with the implementation*

55

*Of the metal structural system of rigid perimeter grid*

Natalie huerta de la cruz, eduardo mayhuire zuñiga, esther vargas chang

### *Evaluation of the envelope in relation to indoor and outdoor air associated with health, case study: multifamily project "el alcazar"*

67

Gustavo salazar achata, yony mayhua escobar, susana dávila Fernández

### *Geotechnical solution for the foundation soil of the 7 towers of the villa panamericana*

91

Marco Antonio Hernández Aguilar, Ronald Saúl Vega López

### *Problem-based learning in hydrology courses*

109

Maiquel López Silva, Dayma Carmenates Hernández, Oscar Brown Manrique, Belarmino Guivala, Fernando Brazao Tembe

## **ELECTRONICS ENGINEERING**

*Design of a Virtual Model with LabVIEW to simulate the behavior of a Synchronous Electrical* 121  
Alfonso Quispe Perez, Anderson Minaya Ticona, Juan Vela Gamboa, Kevin Lozano Rodríguez,  
Luis. Huamani Lagos, Margarita Murillo Manrique

*120 Liter craft beer brewing plant using PLC and a PID temperature control* 135  
Neyra Fernández Ángel, Acosta Acho Jesús, Ricardo J. Palomares Orihuela



## Editorial

La revista Perfiles de Ingeniería inicia una nueva etapa, cambiando su edición anual por semestral, es sumamente importante lograr los mejores estándares de publicación, esto se logrará con el esfuerzo de docentes, estudiantes y egresados.

Nunca como hoy se hizo evidente la crisis de civilización que vive el Perú y la humanidad, la pandemia por Covid-19, develo las graves carencias de las necesidades básicas en el Perú a esto se suma la crisis ecológica producida por el cambio climático y el fenómeno del Niño que está causando graves daños a la comunidad por el mal manejo de los ecosistemas y la corrupción.

En los últimos años, la Universidad Ricardo Palma se ha mantenido entre las universidades top en sostenibilidad en el Perú. Esto ha quedado evidenciado en los resultados de las evaluaciones que anualmente realiza el Ministerio del Ambiente (MINAM) en colaboración con la Red Ambiental Interuniversitaria (RAI), sobre la incorporación de la dimensión ambiental en las universidades peruanas.

Logramos estas posiciones a través de la ejecución de un plan ambiental internacionalmente alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, (la URP es punto focal de la Universidad de las Naciones Unidas. A nivel nacional está alineado a las políticas del Ministerio del Ambiente y de la SUNEDU” a nivel de la URP a través del Comité Ambiental articula la inteligencia colectiva de docentes, alumnos y administrativos en bien de una universidad y un país sostenible.

La Política y el Plan de Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021-2026) de la Universidad, a través del Comité Ambiental gestiona y articula las dimensiones de Gobierno, Gestión Ambiental, Formación, Investigación y Proyección Social. En relación con la formación, la URP aborda el cuidado del ambiente con cursos específicos y de manera transversal en la enseñanza universitaria y a lo largo de toda la carrera. En el ámbito de la investigación, la Universidad cuenta con más de 40 proyectos en el área ambiental, así como grupos de investigación y publicaciones especializadas en cuidado del ambiente y responsabilidad social.

Con respecto a la gestión ambiental, cuenta con el proyecto Universidad Ecológica se han implementado diversas medidas. Entre ellas la mejora del manejo de residuos sólidos, la instalación de paneles solares que abastecen de energía a parte del campus, especialmente a las luminarias de la zona de estacionamiento. Además, se han creado muros ecológicos que añaden aproximadamente 4,000 metros cuadrados de áreas verdes a la Universidad, contribuyendo así a la generación de oxígeno y al bienestar del planeta.

Dentro de la dimensión de proyección social, organizamos actividades en las que nos proyectamos hacia la comunidad y donde nuestros estudiantes participan entusiasta y activamente. A través de los programas de voluntariado, la Universidad contribuye en la limpieza de playas y la promueve el cuidado del medioambiente en diferentes zonas de Lima.

Estamos trabajando para incrementar el voluntariado y la participación de los estudiantes en todas las carreras para brindar atención a la sociedad. Sin embargo, aún existen desafíos por superar. En las últimas dos décadas ha habido una mejora significativa en la consciencia ambiental y en la adopción de prácticas sostenibles en la universidad. Reiteramos la invitación a enviarnos artículos sobre las múltiples investigaciones que realiza nuestra Facultad para hacer sostenible la vida.

La ONU ha realizado una relevante declaración, cuando aprobó que el ambiente saludable es un derecho humano, constituye una decisión histórica, pues se refiere y reconoce, de manera contundente una política de humanidad. Esta resolución considera tres principales amenazas ambientales, íntimamente interrelacionadas, a las que se enfrenta actualmente la humanidad: La contaminación ambiental, el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad

En esta edición de la revista Perfiles de Ingeniería, presentamos artículos de las diversas carreras, las mismas que proponen soluciones a los problemas existentes en el hospital de Neoplásica plantean interesantes propuestas para abordar y solucionar los diferentes problemas locales y nacionales.

Nuestro reconocimiento al Dr. Santiago Rojas Tuya, decano de la Facultad de Ingeniería, por su decidido apoyo para impulsar esta publicación. Agradecemos al Dr. Iván Rodríguez Chávez, rector de la Universidad Ricardo Palma, por su valioso apoyo institucional, y a todos los directores editores, miembros del comité editorial, evaluadores pares, Consejo Nacional Consultivo y Consejo Consultivo Internacional, por su compromiso con la presente edición, así como a los autores de los artículos que hacen posible la publicación.

Mg. Teresa Salinas Gamero  
teresa.salinas@urp.edu.pe  
<https://orcid.org/0000-0001-7535-547X>  
Universidad Ricardo Palma

Directora - Editora principal  
Revista Perfiles de Ingeniería



Esta obra se publica bajo la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0

## Presentación del Decano

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma tiene como misión formar profesionales en diversos campos de la ingeniería que se caractericen por su liderazgo, autonomía, espíritu innovador y emprendedor, y por una sólida base científica, técnica y humanista. Estos aspectos los perfilan como ingenieros con una formación integral, dotados de competencias para trabajar globalmente en investigación y en la búsqueda permanente de soluciones tecnológicas que sean económicamente viables y socialmente responsables en beneficio del país.



Me complace presentar esta nueva edición semestral de la revista *Perfiles de Ingeniería*, porque marca un importante precedente para mejorar la calidad y frecuencia de publicación y aspirar a mejores niveles de indización. En este número de la revista se presentan interesantes artículos como “Eficiencia energética en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas en Surquillo, Lima tras la pandemia del Covid-19”, “Comportamiento sismorresistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral”, entre otros de sumo interés. Los invito a leer y difundir la información entre los docentes y estudiantes.

Las cinco escuelas profesionales de la Facultad de Ingeniería han sido internacionalmente acreditadas por la estadounidense ABET. Estas son Civil, Electrónica, Industrial, Informática y Mecatrónica. Asimismo, contamos con las acreditaciones nacionales otorgadas por el Instituto de Calidad y Acreditación de Programas de Computación, Ingeniería y Tecnología (ICACIT) y la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU). Esto nos impulsa a seguir en el proceso de mejorar continuamente la calidad y obtener nuevos logros.

Para renovar el proceso de acreditación internacional de ABET y alcanzar otras, la Facultad de Ingeniería cuenta con un comité encargado de supervisar todas las actividades de mejora continua y calidad, que permitan dicha renovación. Las cinco escuelas profesionales que constituyen la Facultad de Ingeniería forman a nuestros estudiantes según un método teórico-experimental que culmina en una Feria de trabajos

de ingeniería. Este busca evidenciar el buen trabajo docente así como la creatividad e ingenio de nuestros futuros ingenieros.

Con el fin de reforzar y respaldar dicho trabajo, se han renovado los laboratorios de todas las escuelas con equipos de alta calidad. Asimismo, se han renovado e implementado todas las licencias de software requeridos en los laboratorios de especialidad. Por otra parte, se ha puesto en funcionamiento el último robot mecatrónico 4.0 para uso de los estudiantes de las ingenierías Industrial, Mecatrónica y Electrónica. De este modo, se reforzarán las investigaciones aplicadas en diversas publicaciones.

Respecto a las investigaciones y publicaciones, en la gestión actual, se están consolidando oficialmente las representaciones de ramas estudiantiles pertenecientes a las cinco escuelas profesionales para la sostenibilidad de las investigaciones. Ya se ha reconocido nacional e internacionalmente a IEOM de Ingeniería Industrial, y está en proceso la consolidación de las representaciones estudiantiles de Ingeniería Civil (CI-Vial, ACI, Geotecnia) e Ingeniería Informática.

Finalmente, estamos en proceso de renovar el licenciamiento de la Universidad ante la SUNEDU, lo que nos obliga a seguir mejorando la calidad educativa y consolidar el Sistema de Gestión de la calidad educativa. Para tal fin, se están conformando grupos de estudios para realizar investigaciones con sostenibilidad, renovar los planes curriculares y cuadros docentes en general. Este proceso garantizará el incremento de artículos publicables en la revista *Perfiles de Ingeniería*.

Mis felicitaciones a todos los estudiantes, docentes y a los integrantes del equipo de la revista *Perfiles de Ingeniería* que hicieron posible su edición semestral. Les reitero la invitación a continuar este notable trabajo.

Dr. Ing. Santiago Fidel Rojas Tuya  
srojas@urp.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-4981-8722>

Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma



Esta obra se publica bajo la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0



## Mensaje del Rector

La Universidad Ricardo Palma celebra 54 años de vida institucional y lo hace adaptándose a los desafíos de los nuevos tiempos y apostando por convertirse en una universidad ecológica. Nació en 1969, bajo el Decreto Ley N° 17437, promulgado por el Gobierno Militar, que introdujo en el Perú el modelo universitario estadounidense.



En la actualidad, la Universidad cuenta con un total de 18 carreras, que, constantemente, son actualizadas, tanto a nivel de la malla curricular como de equipamiento, según el avance del conocimiento, especialmente el científico y tecnológico. La Facultad de Ingeniería, por ejemplo, acaba de incorporar modernos laboratorios en todas sus carreras. Asimismo, los sistemas informáticos y digitales, considerados herramientas didácticas fundamentales en la Universidad, han sido implementados en todas las carreras, las cuales cuentan con sus propios laboratorios de computación. También tenemos un laboratorio de robótica y contamos con varios institutos que llevan a cabo actividades de investigación y divulgación.

Uno de los proyectos más importantes es convertirnos en una universidad sostenible y ecológica. Nuestro objetivo es educar y formar profesionales con conciencia ambiental y comprometidos con el cuidado de la vida. Entre las universidades, nos hemos posicionado muy bien en relación a la dimensión de sostenibilidad; de hecho, La URP se ubica en el sexto puesto a nivel nacional. En esa línea, el Consejo Universitario aprobó la Política y el Plan de Protección del Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021-2026) de la Universidad. A través del Comité Ambiental se gestiona y articulan las dimensiones de formación, investigación y proyección social. El Comité Ambiental reúne a representantes de todas las facultades, quienes coordinan las actividades en sus facultades y dependencias respectivas.

Paralelamente, continuamos mejorando la infraestructura de nuestro campus con un enfoque sostenible. Por ejemplo, estamos implementando tratamientos acústicos en las ventanas de las aulas, especialmente aquellas cercanas a vías con alto tráfico. Además, enfrentamos los desafíos de generar oxígeno por medio de jardines verticales y de utilizar la energía fotovoltaica proveniente del sol. Asimismo, trabajamos en sistemas de tratamiento de aguas y en ajustes para mitigar la exposición al sol en las aulas. Todo esto forma parte de nuestro proceso de transformación en una universidad ecológica. Buscamos promover la

conciencia ecológica mediante la mejora del campus y la creación de un entorno físico propicio para el trabajo pedagógico.

En el momento actual, la inteligencia artificial desafía los métodos de enseñanza y aprendizaje tradicionales. Desde mi perspectiva, no obstante, nunca debemos abandonar los enfoques de desarrollo humano, porque, si bien estos avances tecnológicos son positivos en muchos aspectos, también presentan limitaciones y componentes negativos. El principal riesgo radica en que las personas dependan demasiado de estos programas y limiten el desarrollo de sus propias capacidades. Estamos trabajando para encontrar un equilibrio entre todas estas tendencias actuales para aprovechar al máximo los avances tecnológicos sin perder de vista la importancia de los métodos educativos tradicionales.

Nos proyectamos a la comunidad a través de una amplia gama de actividades de extensión cultural, educación continua y participación comunitaria. En ese sentido, brindamos asesoría en trabajos relacionados a la arquitectura e ingeniería, realizamos campañas médicas dirigidas a la población económicamente desfavorecida y colaboramos con las municipalidades y organizaciones comunitarias que solicitan capacitaciones en temas específicos, proyectos o asistencia técnica. Por ejemplo, nuestros estudiantes de Psicología de los últimos semestres, acompañados por sus profesores, brindan apoyo psicopedagógico en algunas escuelas. También contamos con elencos artísticos en los que participan miembros de la comunidad. Somos una institución activa y comprometida con el bienestar y el desarrollo de la sociedad en general.

Por eso, quiero comprometer a toda la comunidad universitaria a continuar trabajando y estudiando intensamente, así como a sumarse a las actividades de voluntariado del Comité Ambiental. La Universidad debe colaborar en la lucha contra los graves problemas ambientales y climáticos del país, en especial ahora que se ha declarado el inminente inicio del Fenómeno del Niño.

Felicito al decano de la Facultad de Ingeniería, el Dr. Santiago Rojas, y a la directora de la revista, la Mg. Teresa Salinas, junto a su equipo editorial y a los autores de los artículos, por ofrecernos esta nueva publicación de la Perfiles de Ingeniería, la misma que no solo contribuye a mejorar los índices de acreditación institucional, sino que acerca el conocimiento de nuestros investigadores a la comunidad.

Dr. Elio Iván Rodríguez Chávez  
rector@urp.edu.pe  
<https://orcid.org/0000-0003-0688-2035>  
Rector de la Universidad Ricardo Palma



Esta obra se publica bajo la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0



# Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar "El alcázar"

*Evaluation of the envelope in relation to indoor and outdoor air associated with health, case study: Multifamily project "el alcazar"*

Gustavo Salazar Achata, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández.  
Facultad de Ingeniería Universidad Ricardo Palma.

RECIBIDO: 19 de diciembre

ACEPTADO: 15 de mayo

## RESUMEN

La contaminación del aire y el cambio climático son las mayores amenazas que vienen afectando la salud humana en todo el mundo. El presente artículo tiene como objetivo determinar de qué manera se puede mejorar la envolvente de un edificio en relación al aire interior y exterior con la finalidad de que, los propietarios puedan gozar de una mejor salud, bienestar y comodidad. La metodología es de nivel descriptivo comparativo, citando estudios de cómo mejorar la envolvente de un edificio multifamiliar. Algunas de las consideraciones son, la orientación, los materiales de construcción y alternativas de ventilación mecánica. Los métodos y teorías fueron aplicados a un caso de estudio específico, el proyecto multifamiliar "El Alcazar" el cual se encuentra ubicado en el distrito de Santiago de Surco. Los resultados indican que los departamentos con menor incidencia solar son los del triplex 01, siendo el más crítico el piso 2 con el 12.28% de su área total. Además, que la proliferación del moho está directamente ligado a la incidencia solar, afectando a las cocinas, baños e ingresos al ser los espacios más cerrados. Los departamentos al tener colores interiores blancos y tonos claro, favorece a la captación de la luz natural. Finalmente, será necesaria la instalación de ventilación mecánica los en los primeros pisos de los departamentos triplex 01 y 07.

**Palabras Clave:** Envolvente, Edificaciones, Multifamiliares, Calidad del aire interior, Calidad del aire exterior, Salud.

## Como citar

G. Salazar Achata, Y. Mayhua Escobar, y S. Dávila Fernández, «Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar "El alcázar"»; *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 19, n.º 19, pp. 67–90. jun. 2023.

## ABSTRACT

Air pollution and climate change are the biggest threats affecting human health around the world. This article aims to determine how the envelope of a building can be improved in relation to indoor and outdoor air so that the owners can enjoy better health, well-being and comfort. The methodology is comparative descriptive level, citing studies on how to improve the envelope of a multi-family building. Some of the considerations are orientation, construction materials, and mechanical ventilation alternatives. The methods and theories were applied to a specific case study, the multifamily project "El Alcazar" which is located in the district of Santiago de Surco. The results indicate that the departments with the lowest solar incidence are those of triplex 01, the most critical being floor 2 with 12.28% of its total area. In addition, the proliferation of mold is directly linked to solar incidence, affecting kitchens, bathrooms and entrances as they are the most closed spaces. The apartments, having white interior colors and light tones, favor the capture of natural light. Finally, it will be necessary to install mechanical ventilation on the first floors of triplex apartments 01 and 07.

**Keywords:** Envelope, Buildings, Multifamily building, Indoor air quality, Outdoor air quality, Health.

Este artículo está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire y el cambio climático son las mayores amenazas que vienen afectando la salud humana en todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2021, mediante un comunicado de prensa, da a conocer que las nuevas Directrices mundiales de la (OMS) han demostrado que la contaminación del aire causa daños en la salud humana en concentraciones más bajas de lo que se tiene estimado [1]. Se estima que 7 millones de personas mueren prematuramente cada año por la problemática de la contaminación del aire, además, de generar enfermedades y complicaciones en la salud. Sobre todo, a una población vulnerable que está conformada por personas con enfermedades crónicas como el asma, cardiopatías, entre otras; así como, los adultos mayores, niños y mujeres en gestación. [2] Según la (OMS) en el año 2019, más del 90% de la población mundial vive en zonas que superan los límites de los niveles de contaminación del aire dados por la misma organización. [1] Quedando en evidencia que, estamos frente a un serio problema y que es necesario tomar medidas para mitigar los niveles de contaminación del aire.

En un informe publicado por la ONU en el año 2021 [3], en el cual se explica cómo pueden contribuir los edificios a los objetivos del desarrollo sostenible, resaltamos el ODS 3 Salud y Bienestar, el cual tiene como objetivo, garantizar que todos los seres humanos disfruten de una vida saludable. En el ODS 3 relacionado a construcciones sostenibles, se menciona la importancia de realizar evaluaciones sistemáticas en la planificación para así poder identificar posibles impactos negativos en la población, seleccionando métodos y diseños de construcción que fomenten el bienestar y salud de las personas. Algunas de las estadísticas alarmantes que nos revela el informe de la ONU es que, se estima que el aire contaminado mata a más personas en el mundo que el agua contaminada y las enfermedades tropicales, además, que pasamos el 90% del tiempo en espacios interiores.

Frente a esta importante problemática que viene atravesando el mundo, el presente artículo se centrará en buscar diferentes alternativas que nos permitan mostrar de qué manera se puede mejorar la envolvente de un edificio en relación al aire interior y exterior. De tal manera que, los propietarios puedan gozar de una mejor salud en su estancia, promoviendo además su bienestar, paz y tranquilidad. La envolvente de edificio es la primera capa de defensa del ambiente interior que la protege del ambiente exterior y está conformada tanto por elementos horizontales como verticales [4]. Sus principales funciones

y características son, proporcionar seguridad y refugio, encerrar los espacios acondicionados y transferir la energía térmica hacia o desde el interior. Además, ayuda a la comodidad y seguridad interna como la captación de la luz del día, la temperatura, la energía solar, la acústica, la resistencia al fuego, la calidad del aire interior, el control de la humedad, entre otros. [5]

La calidad del aire interior está definida por la presencia de contaminantes y las condiciones de humedad en el ambiente interior que puedan afectar negativamente la salud, comodidad y el rendimiento de los ocupantes del edificio [6]. Según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. [7], la calidad del aire, es uno de los criterios esenciales para evaluar la calidad de un edificio. Varios estudios han demostrado que los niveles de dióxido de carbono se elevan por la cantidad de personas presentes en una habitación, por las actividades físicas y la combustión de combustibles sólidos [8].

La norma técnica EM.030 Instalaciones de Ventilación del Reglamento Nacional de Edificaciones [9] define al aire exterior asociado a una edificación como el aire alrededor de la vivienda que entra, mediante aberturas intencionales, como ventilación natural y/o ventilación mecánica. La ventilación natural es a través de ventanas y puertas abiertas. La infiltración es un proceso por el cual el aire exterior fluye hacia la casa a través de aberturas, juntas y grietas en paredes, pisos y techos, y alrededor de ventanas y puertas. Mientras que, la ventilación mecánica toma el aire exterior asociadas con el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado [10].

En el artículo 6 de la norma técnica EM.030 [9], se muestra como determinar la Tasa Mínima de Ventilación ( $Vbz$ ), la cual está expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo y se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$Vbz = Rp \times Pz + Ra \times Az$$

Donde:

- $Vbz$  es el caudal de aire exterior (l/s),
- $Rp$  es el caudal de aire exterior requerido por persona (l/s), según valores de Tabla 1,
- $Ra$  es el caudal de aire exterior requerido por unidad de superficie ( $m^2$ ), según valores de Tabla 1,
- $Pz$  es el número de personas en la zona ventilada en horario de uso, según el diseño del Proyectista,
- $Az$ , es la superficie neta habitable de la zona ventilada, ( $m^2$ ).

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar "El Alcazar"

Tabla 1: Tasas mínimas de ventilación en la zona de respiración

Categoría de ocupación	Tasa de aire exterior por persona $R_p$		Tasa de aire exterior por área $R_a$		Valores predeterminados Densidad de ocupantes #/1000 ft <sup>2</sup> o #/100 m <sup>2</sup>
	cfm/persona	L/s* persona	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s*m <sup>2</sup>	
<b>Residencial Transitorio</b>					
Pasillos comunes	-	-	0.06	0.3	
Unidad de vivienda	5	2.5	0.06	0.3	F

Fuente: Norma ASHRAE 62.1, 2019

En la Tabla 1, se puede observar los valores propuestos por la norma ASHRAE 62.1 [11] en la cual se basa la norma técnica EM.030 para la consideración de los valores de ( $R_p$ ) y ( $R_a$ ) para determinar la tasa mínima de ventilación en viviendas residenciales. De tal manera que, es necesario cumplir con las tasas mínimas de ventilación del aire tanto a nivel exterior, como interior.

Un concepto que está relacionado con el aire interior y exterior es el confort térmico. Según La norma técnica EM.110 [12] es una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado, mientras que la norma ISO 7730 [13] señala que es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico. De tal manera que, depende factores como la velocidad relativa del aire, la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la diferencia de temperatura vertical, la humedad relativa, entre otros.

Por lo mencionado, el presente artículo tiene como objetivo principal determinar de qué manera se puede mejorar la envolvente de un edificio en relación al aire interior y exterior. Con la finalidad de que, los propietarios puedan gozar de una mejor salud, bienestar y comodidad. Teniendo como caso de estudio el proyecto multifamiliar "El Alcazar" el cual se encuentra ubicado en la Urbanización La Castellana, distrito de Santiago de Surco.

## II. MARCO TEÓRICO

### 1.1 *Envolventes optimizadoras para reducir el acondicionamiento del aire en edificaciones multifamiliares*

El uso de los equipos de acondicionamiento ambientales en los interiores del edificio consume energía en gran cantidad durante los periodos cálidos y húmedos para mantener un ambiente equilibrado y confortable para los ocupantes. Para que un sistema de acondicionamiento sea más eficaz y económico, existen envolventes que permiten regular la calidad del aire interior a través de la captación del aire exterior hacia el interior. Un estudio realizado por Sushil-Kumar, et al en [14], ha demostrado que los factores que intervienen en la regulación del aire interior de forma natural se ven afectado por la orientación y el uso de materiales de construcción. Por otra parte, el autor también señala que el color de la cobertura de los inmuebles y materiales como la tierra apisonada son efectivas en cuanto a la reducción a las cargas de descenso de la temperatura en ambientes cálidos. De la misma manera, Mishra y Rashmi en [15] sostiene que el uso de las fachadas de las viviendas de alto rendimiento consume energías mínimas para mantener un ambiente cómodo y saludable para mejorar la salud y productividad de los ocupantes.

Para optimizar la calidad del aire interior utilizando envolventes saludables, Sushil-Kumar en [14] ha abordado el concepto de la conductividad térmica de los materiales de construcción y observó que la cubierta del último nivel del edificio, es el que más aporta en la captación de la radiación solar. En la Tabla 2, se puede observar los grosores de los materiales y las cargas transferidas durante un día en un periodo tan caluroso.

Tabla 2: *Propiedades térmicas de los materiales de construcción*

Tipo	Material	Lapsos de tiempo (horas)	Decremento Factor	Tu (con/m <sup>2</sup> -k)
Pared (W1)	Yeso de ladrillo (130 mm)	3	0.7	2.640
Pared (W2)	Yeso de ladrillos (250 mm)	7.6	0.33	1.830
Pared (W3)	Tierra apisonada (300 mm)	10.3	0.22	2.860
Techo (R1)	Techo de concreto (150 mm)	7	0.58	0.896
Techo (R2)	Metal acanalado sábana	0	1	7.14

Fuente: *Sushil-Kumar, 2016*

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

Con estos materiales y tomando en cuenta la conductividad térmica y los requerimientos de energía (Wh) para conservar un enfriamiento aceptable, se ha requerido de una carga interna mínima de 200 W como se muestra en la Tabla 3:

*Tabla 3: Requerimientos de energía para diferentes combinaciones*

<b>Caso</b>	<b>Material</b>	<b>Requerimiento de energía (Wh)</b>
1	W2+R1	1505
2	W1+R1	5681
3	W3+R1	589
4	W3 (blanco) + R1 (blanco)	329
5	W2+R2	15660

*Fuente: Sushil-Kumar et al, 2016*

En la Tabla 3, se puede apreciar como resultado que la transferencia de calor en las paredes de color blanco construidas a base de tierra apisonada y techo de concreto son las que requieren menor carga de enfriamiento.

### **1.2 Influencia negativa del moho en la envolvente de un edificio y cómo evitarla**

Uno de los problemas que experimenta el edificio es la humedad en el hogar, producida por la misma composición de los materiales de construcción tales como: pinturas, maderas, plásticos, muebles y otros materiales que forman parte de la envolvente de las viviendas. Ganem cita a Larsen et al en [16] las ventanas son los medios de ventilación natural efectiva para reducir el acumulamiento de las partículas de humedad. Otro estudio de Kenechi et al en [17] afirma que la participación de la humedad es significativamente predominante en la durabilidad de las envolventes de los edificios. Dado que el fenómeno de la succión capilar de la humedad del suelo afecta a los materiales de construcción de mampostería porosa, piedras y bloque de ladrillos ásperos. La humedad siempre penetra hacia el interior del edificio y afecta la salud humana.

Yonghui et al en [18], investigó que la humedad en ambientes interiores es muy persistente ya que, al no controlarlo se generan microorganismos en las superficies interiores y en las estructuras de los edificios. Unas de las partículas que comúnmente se ven en las viviendas es el moho, un microorganismo que suele estar depositado en las cavidades de las envolventes exteriores del hogar. Generalmente, esto se refiere a paredes hechas de ladrillos porosos o acabados de piedras rugosas que facilitan el acumulamiento de partículas suspendidas. Por otro lado, el autor ha demostrado que estas partículas del moho ingresan a través de las

Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

cavidades, un conducto dentro de un cuerpo cualquiera [19]. Las cavidades permiten el paso de la tubería el paso de las tuberías de los dispositivos del aire acondicionado.

En la Figura 1 (b) y (c) se muestra las cavidades en pésimas condiciones y la fachada rugosa del edificio monitoreado.

*Figura 1: Monitoreo del moho en diferentes espacios de un edificio*



*Fuente: Yonghui, 2020*

En la Figura 1, se observa los diferentes espacios afectados por la humedad del moho. En: (a) La fachada principal del edificio monitoreado y la habitación monitoreada (en línea discontinua roja) con el orificio de la tubería del aire acondicionado, es decir, la cavidad de aire (en círculo rojo); (b) la cavidad de aire en la habitación monitoreada sin sellar; (c) colonización de moho cerca de la cavidad de aire (en círculo azul).

Para mitigar este tipo de problemática en las envolventes, Yonghui se ha apoyado en un modelamiento mediante una termografía durante un año y medio, y descubrió que en los meses más cálidos y templados en donde se utilizan los sistemas de acondicionamiento ambiental con mayor frecuencia, es allí donde se incrementa la producción masiva de moho. Por lo que, recomienda utilizar una envolvente aislada. De tal manera que, esto evite la infiltración y exfiltración de humedad asegurando un ambiente amigable y se deben realizar los mantenimientos de las cavidades en un periodo muy frecuente.

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

### **1.3 Materiales de construcción para tener un mejor desempeño como envolvente en relación al confort térmico en apartamentos ocultos**

Para conseguir el desempeño satisfactorio de la envolvente en apartamentos muy ocultos, también influye la orientación de la fachada, es decir si este está en la dirección adecuada respecto a la dirección del viento y el sol. Son factores que influyen en el bienestar de los usuarios dentro de una edificación. Según Castillo et al en [20], señala que para determinar un mejor confort térmico de un ambiente hay factores intervinientes que son muy variables, entre los principales parámetros a tomar en cuenta es la condición ambiental exterior del ambiente, tales como: la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura media radianes ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidad del aire (m/s), la humedad del aire (Pa) y el tipo de material que conforma la envolvente del apartamento. Ver Figura 2:

*Figura 2: Recorrido solar por horas*



*Fuente: Castillo, et al, 2019*

El estudio de la envolvente es un tema muy amplio y complejo en el diseño de las edificaciones sustentables, puesto que integra toda la cobertura del diseño arquitectónico y es la mayor área superficial que incide en el control térmico y lumínico de la edificación. Medina y Escobar cita a Velasco y Robles en [21] lo siguiente:

Los tipos de factores determinantes del diseño para las eco-envolventes arquitectónicas son tres: los primeros implican lo relacionado con el funcionamiento de la fachada como proveedora de confort interno; el segundo tipo de factores implica el área tecnológica, directamente ligada a la materialidad y constructibilidad de las propuestas, mientras el tercer tipo de factores serían los medio-ambientales, más importantes aun cuando nuestro énfasis está en la sostenibilidad espacio-ambiental del sistema envolvente (pp. 92)

Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

---

En este sentido, se entiende que para hacer una edificación sustentable se tiene que tomar en cuenta el valor funcional de la cobertura y el tipo de edificación que se va diseñar según el uso. Asimismo, el otro factor interviniente es el uso del tipo de material de construcción el cual pueden ser materiales eco amigables o artificiales. Por último, es adaptar el diseño arquitectónico a las condiciones ambientales de la zona.

Retomando la investigación de Castillo et al en [20], en su investigación recomienda el uso de materiales de construcción que se caractericen por ser rígidos, que eviten la transmisión térmica

para la parte de fachadas y acabados interiores de la edificación, entre las cuales es el uso de recubrimiento de piedra, porcelanato y cerámica en paredes y muros. Por otro lado, en la pared interior el uso de los colores más claros como el color blanco o gris favorece a la reflexión de la luz hacia las otras áreas donde no ingrese la iluminación natural. Otro detalle que el autor enfatiza a la ventana de vidrio como envolvente principal y que deben tener 3mm de espesor que cuente con características termodinámicas y reflectivo, en el caso de las puertas recomienda la madera liviana como el cedro, el pino que cuenta con una conductividad térmica de  $0.14\text{W/m}^\circ\text{C}$ .

#### ***1.4 Tecnologías integradas que complementan al buen funcionamiento de la envolvente de edificios***

En ambientes muy cerrados donde no presenta la ventilación natural se opta por las tecnologías de energía renovables que se alimentan de la corriente natural captada por los paneles solares. De tal manera que, el usar este tipo de tecnología permita la reducción de la proliferación de las emisiones del dióxido de carbono y el consumo de los restos fósiles. Además, mejora los gastos económicos del consumo de energía. Según Lín et al en [22], para que un edificio sea más saludable debe contemplar el uso de los componentes de la envolvente del edificio y los sistemas mecánicos. De tal forma que, ambos componentes trabajen monolíticamente para alcanzar un mejor ambiente confortable y den respuesta a las condiciones ambientales tanto como interiores y exteriores. Asimismo, Rajagopalan y Goodman en su investigación en [23], ha demostrado que el empleo de la tecnología de filtración y purificador de aire son alternativas inmediatas para mejorar la calidad del aire interior en casos donde ocurren incendios o contaminaciones ambientales al entorno del edificio. Esto quiere decir que, el uso de las tecnologías complementa al buen funcionamiento de la envolvente en situaciones de incendios o contaminaciones, de modo que, contrarrestan el ingreso de las partículas suspendidas provenientes del aire exterior.

---

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

---

De la misma manera, Biturk et al [24], han estudiado el uso del sistema mecánico con energía solar, un dispositivo que funciona con la energía eléctrica producida por los paneles solares, siendo una alternativa más eficaz en términos de eficiencia y rendimiento. El autor recomienda el uso de estos dispositivos en zonas donde haya mayor temperatura ambiental, de modo que el panel capte la mayor cantidad de los rayos ultravioleta para un mejor funcionamiento de las ventilaciones mecánicas. Además, este sería muy rentables para los usuarios en aspectos económicos y el cuidado del medio ambiente.

### III. METODOLOGÍA

El presente artículo, es de nivel descriptivo comparativo [25]. De tal manera que, para el cumplimiento del objetivo se realizó una revisión exhaustiva de artículos científicos a nivel global y regional, seleccionando métodos y alternativas de mejoramiento de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud. Para luego, realizar una matriz de consistencia de las fuentes seleccionadas como es estrategia para estructurar la presente investigación.

Las herramientas usadas para obtener los resultados del caso de estudio fueron, la página Sun Earth Tool que nos permite ver la trayectoria del sol para cualquier ubicación. Así mismo, el programa AutoCad para determinar las áreas de cada departamento en relación a la influencia de los rayos del sol. Así mismo, el uso de una hoja de cálculo para determinar los porcentajes de las áreas mencionadas. Por último, se utilizó la página Meteoblue para determinar la dirección del viento en la zona de estudio.

### IV. RESULTADOS

Los resultados serán obtenidos aplicando los métodos y alternativas citados en la metodología. El presente artículo tiene como caso de estudio al proyecto multifamiliar “El Alcazar” [26], ubicado en la Calle El Alcázar, Urbanización La Castellana, Distrito de Santiago de Surco, ver Figura 4 [27]:

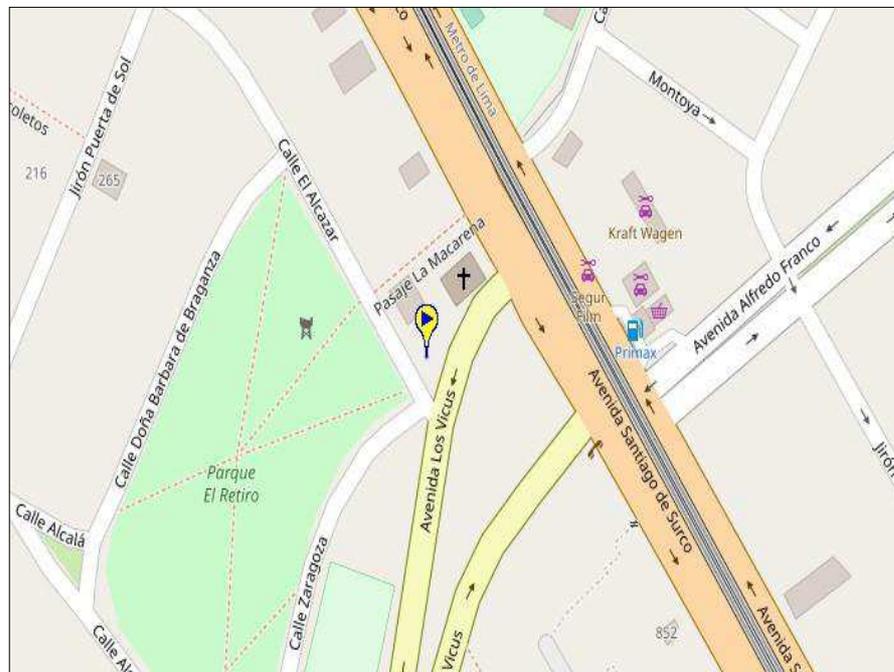
Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

Figura 3: Fachada del proyecto multifamiliar “El Alcazar”



Fuente: Nexo Inmobiliario, 2022

Figura 4: Ubicación del proyecto multifamiliar “El Alcazar”



Fuente: Sun Earth Tool, 2022

El proyecto multifamiliar “El Alcazar” se caracteriza por estar ubicado frente al parque “El Retiro”. Cuenta con 7 pisos y 23 departamentos desde 67 m<sup>2</sup> hasta 131 m<sup>2</sup>. Para el presente

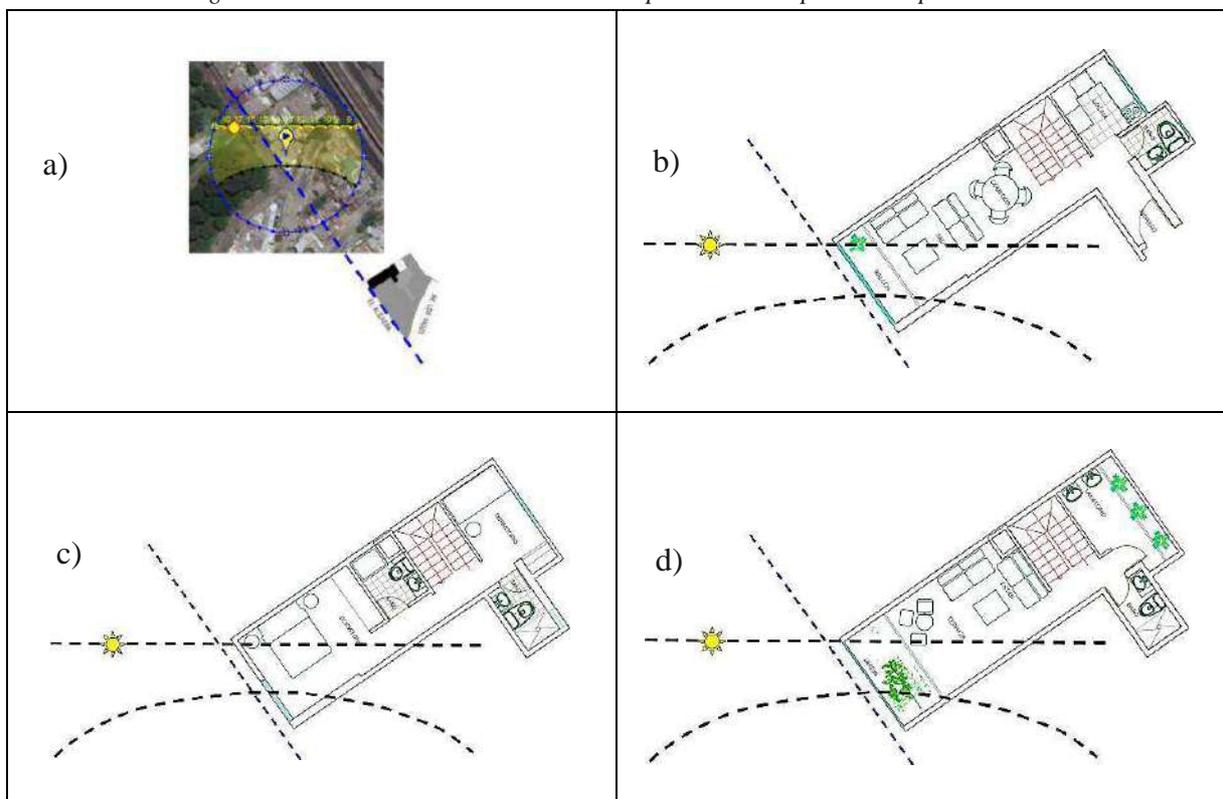
Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

artículo se va a analizar la envolvente en relación al aire asociado a la salud en tres departamentos triplex, el 01, 05 y 07.

#### 4.1 Análisis de la orientación de los departamentos respecto al sol

##### Departamento Triplex 01

Figura 5: Análisis de la orientación del departamento triplex 01 respecto al sol



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 a), se muestran dos trayectorias, una lineal, la cual representa la trayectoria del sol en invierno y otra cóncava, representa la trayectoria del sol en verano.

Seguidamente, en la Figura 5 b) se muestra el primer piso del departamento triplex 01, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por el balcón pasando el medio día, teniendo un porcentaje de influencia solar del 20.16%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 79.84% del área total ya que, llega poca iluminación natural a la cocina, baño y el ingreso principal.

Así mismo, en la Figura 5 c) se puede observar el segundo piso del departamento triplex 01,

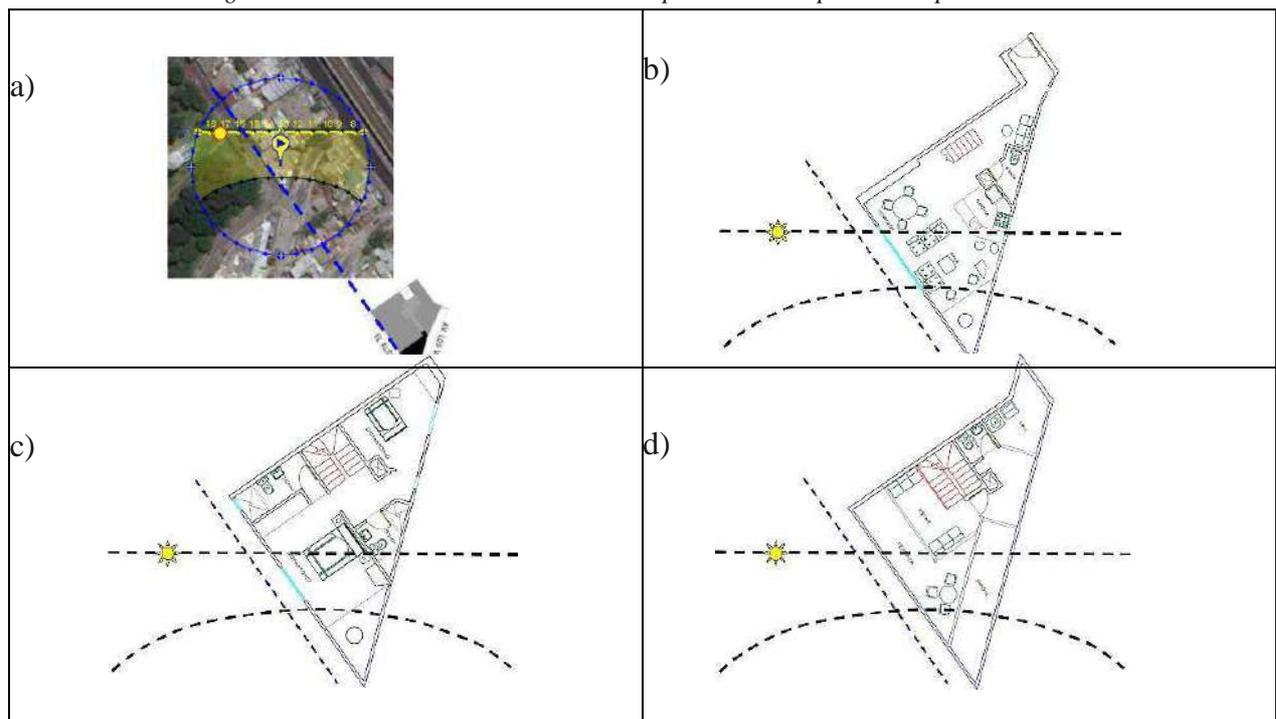
Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

elcual nos muestra que los rayos del sol ingresan por la ventana del dormitorio principal pasando el medio día, teniendo un porcentaje de influencia solar del 12.28%. Sin embargo, el área sininfluencia de rayos del sol representa el 87.72% del área total ya que, llega poca iluminaciónnatural al baño 1, escalera, baño 2 y dormitorio 2.

Finalmente, en la Figura 5 d) se muestra la terraza del departamento triplex 01, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por el jardín pasando el medio día, teniendo un porcentaje de influencia solar del 71.15%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 28.85% del área total del último nivel.

#### Departamento Triplex 05

Figura 6: Análisis de la orientación del departamento triplex 05 respecto al sol



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 a), se muestran dos trayectorias, una lineal, la cual representa la trayectoria del solen invierno y otra cóncava, representa la trayectoria del sol en verano.

Seguidamente, en la Figura 6 b) se muestra el primer piso del departamento triplex 05, el cualnos muestra que los rayos del sol ingresan por la sala comedor pasando el medio día, teniendoun porcentaje

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

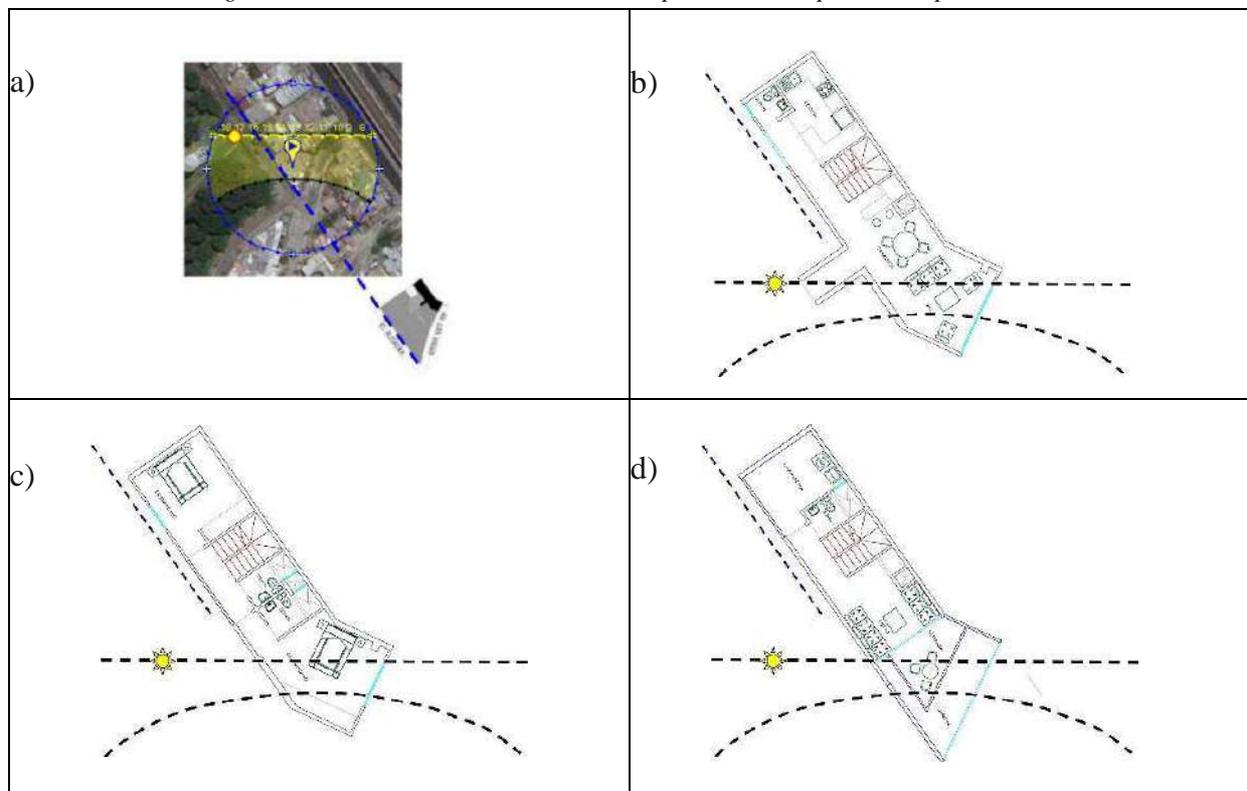
de influencia solar del 40.07%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 59.93% del área total ya que, llega poca iluminación natural a el ingreso, baño y hall.

Así mismo, en la Figura 6 c) se puede observar el segundo piso del departamento triplex 05, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por la ventana del dormitorio principal y baño 1 pasando el medio día, teniendo un porcentaje de influencia solar del 31.49%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 68.51% del área total ya que, llega poca iluminación natural al dormitorio 2, escalera y baño 2.

Finalmente, en la Figura 6 d) se muestra la terraza del departamento triplex 05, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por la terraza y jardín durante el día, teniendo un porcentaje de influencia solar del 73.35%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 26.65% del área total del último nivel

Departamento Triplex 07

Figura 7: Análisis de la orientación del departamento triplex 07 respecto al sol



Fuente: Elaboración propia

Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

En la Figura 7 a), se muestran dos trayectorias, una lineal, la cual representa la trayectoria del sol en invierno y otra cóncava, representa la trayectoria del sol en verano.

Seguidamente, en la Figura 7 b) se muestra el primer piso del departamento triplex 07, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por la sala comedor en la mañana, teniendo un porcentaje de influencia solar del 17.44%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 82.56% del área total ya que, llega poca iluminación natural al baño, cocina y escalera.

Así mismo, en la Figura 7 c) se puede observar el segundo piso del departamento triplex 07, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por la ventana del dormitorio principal en la mañana, teniendo un porcentaje de influencia solar del 23.02%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 76.98% del área total ya que, llega poca iluminación natural al dormitorio 2, escalera, baño 1 y 2.

Finalmente, en la Figura 7 d) se muestra la terraza del departamento triplex 07, el cual nos muestra que los rayos del sol ingresan por el jardín y la terraza durante el día, teniendo un porcentaje de influencia solar del 61.73%. Sin embargo, el área sin influencia de rayos del sol representa el 38.27% del área total del último nivel.

En la Tabla 4, se pueden apreciar los resultados de las áreas con y sin influencia de los rayos del sol con respecto al área de cada piso de los departamentos triplex 01, 05 y 07.

Tabla 4: Porcentajes de áreas con y sin influencia del sol por pisos de los departamentos

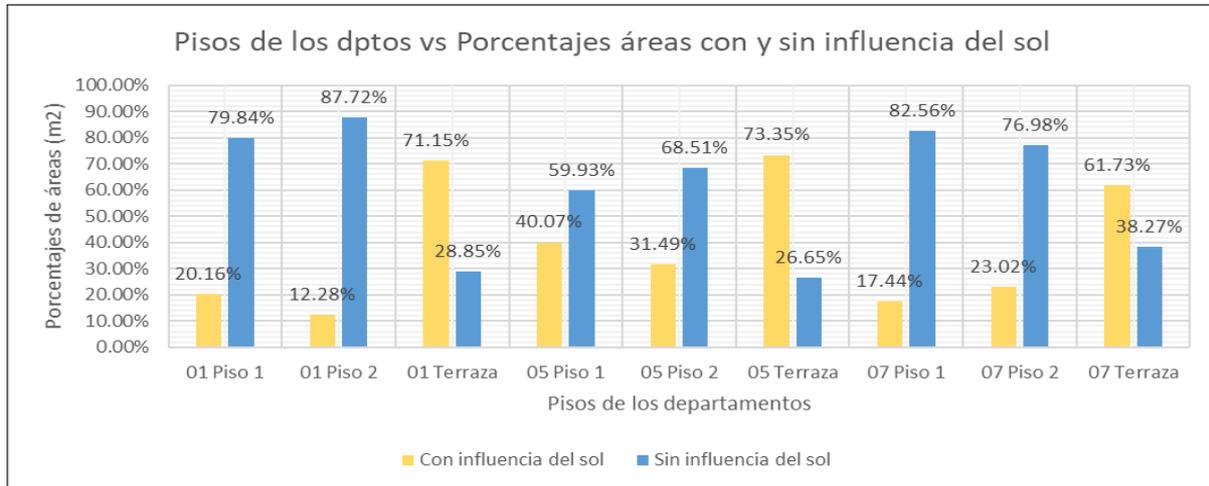
Dpto.	Área Total	Área con influencia de		Área sin influencia de		
	Total	los rayos del sol		los rayo		
	(m2)	(m2)	(%)	(m2)	(%)	
Triplex 01	01 Piso 1	29.67	5.98	20.16%	23.69	79.84%
	01 Piso 2	28.45	3.49	12.28%	24.95	87.72%
	01 Terraza	29.36	20.89	71.15%	8.47	28.85%
Triplex 05	05 Piso 1	43.94	17.61	40.07%	26.33	59.93%
	05 Piso 2	38.65	12.17	31.49%	26.48	68.51%
	05 Terraza	39.85	29.23	73.35%	10.62	26.65%
Triplex 07	07 Piso 1	44.70	7.80	17.44%	36.90	82.56%
	07 Piso 2	41.99	9.66	23.02%	32.32	76.98%
	07 Terraza	44.89	27.71	61.73%	17.18	38.27%

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

En la Figura 8, se observa los porcentajes de áreas con y sin influencia del sol por pisos de los departamentos.

Figura 8: Porcentajes de áreas con y sin influencia del sol por pisos de los departamentos



Fuente: Elaboración propia

Quedando en evidencia en la Figura 8, que los pisos 1 y 2 de cada departamento triplex son los que menos influencia tienen de los rayos del sol. El piso 2 del triplex 01 es el que tiene menos influencia de los rayos del sol con un 12.28% del área total, mientras que, el piso 1 del triplex 05 es el que tiene mayor influencia de los rayos del sol con un 40.07%. Finalmente, se puede observar que las terrazas presentan una mayor influencia de los rayos del sol.

#### 4.2 Análisis de la proliferación del moho en los departamentos

Del departamento triplex 01:

Con respecto al primer piso, se observa que, en el ingreso principal, baño 1, cocina y la escalera, no llegan a tener contacto con los rayos del sol, por lo que son ambientes propensos a la proliferación del moho. Seguidamente, en el segundo, se observa que la escalera, el baño 1, baño 2 son áreas muy cerradas, mientras que el dormitorio 2 tiene ventilación. Finalmente, la terraza presenta una mayor ventilación en toda su área.

Del departamento triplex 05:

Con respecto al primer piso, se observa que, en el ingreso principal, hall, baño y la escalera, no llegan a tener contacto con los rayos del sol, por lo que son ambientes propensos a la proliferación del moho. Seguidamente, en el segundo, se observa que la escalera, el baño

1, son áreas muy cerradas. Finalmente, la terraza presenta una mayor ventilación en toda su área.

Del departamento triplex 07:

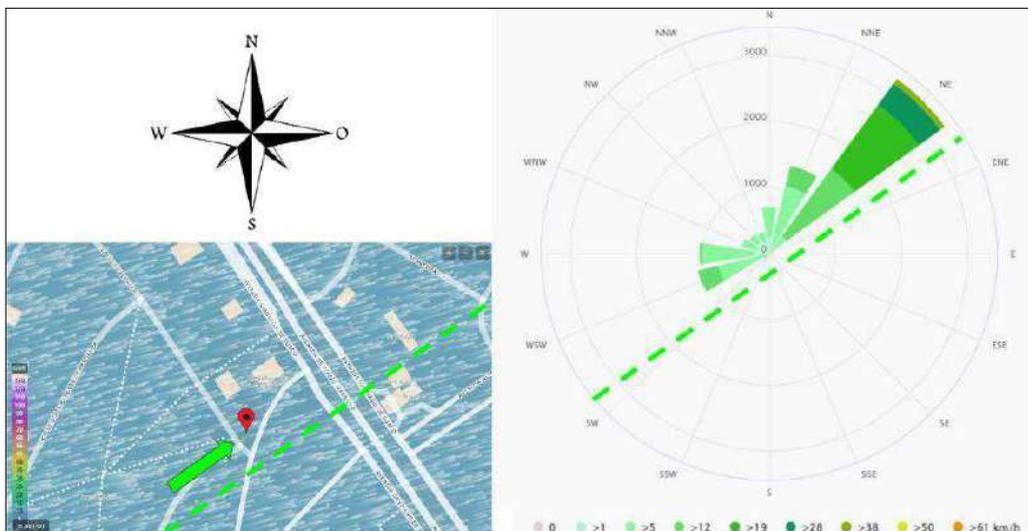
Con respecto al primer piso, se observa que, en la cocina, la escalera y el ingreso no llegan a tener contacto con los rayos del sol, por lo que son ambientes propensos a la proliferación del moho. Seguidamente, en el segundo, se observa que la escalera y el pasadizo son áreas muy cerradas. Finalmente, la terraza presenta una mayor ventilación en toda su área.

En los pisos de los tres departamentos queda evidenciado que la mayor parte de los ambientes son cerrados en el primer y segundo piso, a diferencia de las terrazas.

#### 4.3 *Análisis de la orientación de los departamentos con respecto al aire*

En la Figura 9 [28], se puede apreciar la dirección del viento en la zona de estudio en base a la Rosa de los vientos. El viento está soplando desde el Suroeste (SO) para el Noreste (NE), representado por la flecha de color verde.

Figura 9: Dirección del viento en la zona de estudio en base a la Rosa de los vientos

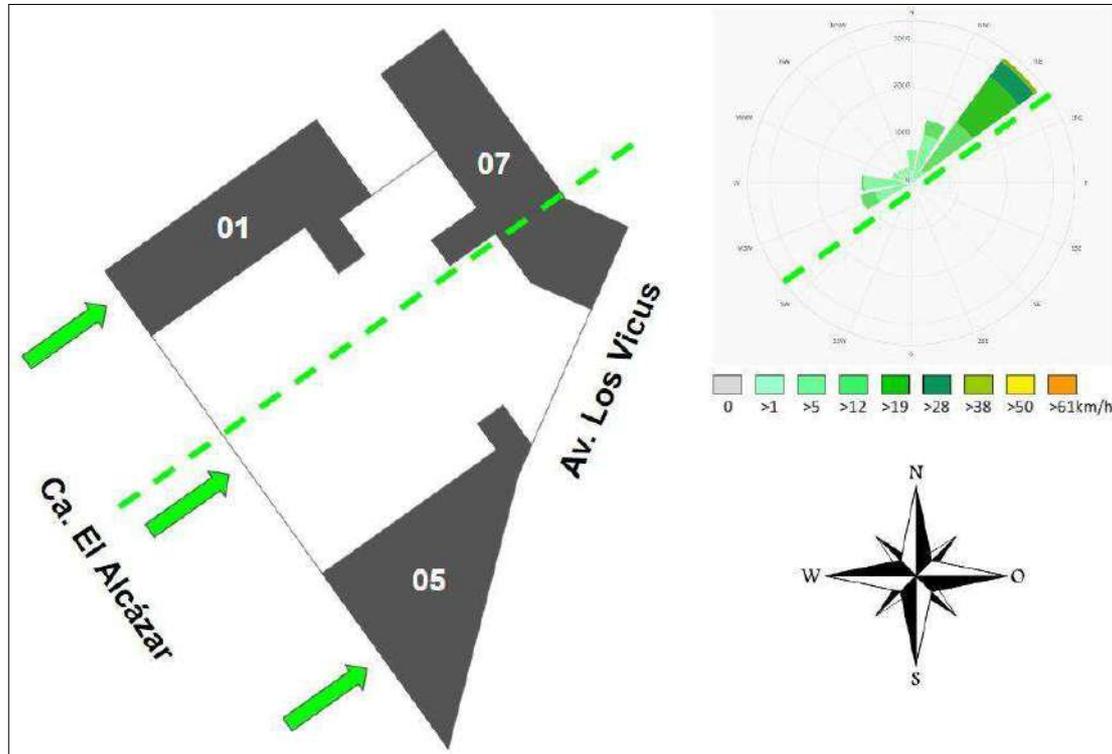


Fuente: Elaboración propia en Meteoblue

Seguidamente, en la Figura 10, se puede apreciar la dirección del viento respecto a los departamentos triplex 01, 05 y 07 en base a la Rosa de los vientos. Así mismo, se puede observar los diferentes rangos de velocidades por colores. En Lima, las velocidades del viento fluctúan entre 12 y 28 km/h.

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcázar”

Figura 10: Dirección del viento para los departamentos triplex 01, 05 y 07 en base a la Rosa de los vientos



Fuente: Elaboración propia

Con respecto al departamento triplex 01, se puede observar que la dirección del viento es perpendicular a la envolvente. De tal manera que, esto favorece a la ventilación natural del departamento. En el primer piso, el aire ingresa por el balcón a la sala-comedor, en el segundo piso, por el dormitorio principal y en el último nivel por el jardín y terraza.

Seguidamente, al departamento triplex 05, de la misma manera puede observar que la dirección del viento es perpendicular a la envolvente favoreciendo a la ventilación natural del departamento. En el primer piso, el aire ingresa por la sala-comedor, en el segundo piso, por el dormitorio principal y en el último nivel por el jardín y terraza.

Así mismo, al departamento triplex 07, se observa que la dirección del viento no tiene contacto con la envolvente. Tanto el piso 1 como el piso 2 se ven afectados por la poca ventilación natural, a diferencia de la terraza.

De hecho, la dirección del viento beneficia a los departamentos que sus fachadas colindan con la calle El Alcázar. Mejorando la ventilación natural de todos sus ambientes.

Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

#### 4.4 *Análisis del color de pintura interior y exterior de los departamentos*

El color de pintura de las paredes interiores en los departamentos se puede apreciar que en su mayoría son de color blanco o tonos claros. Esto es muy beneficioso porque, los ambientes requieren menor carga de enfriamiento, además, los tonos claros mejoran la captación de la luz natural. Ver Figuras 11 y 12:

*Figura 11 Porcentajes de áreas con y sin influencia del sol por pisos de los departamentos*



*Fuente: Nexo Inmobiliario, 2022*

En la Figura 9 se puede apreciar que las paredes y techo de las cocinas son de color blanco. Así mismo, el piso es de un tono claro, lo que favorece a la captación de la luz natural.

*Figura 12: Porcentajes de áreas con y sin influencia del sol por pisos de los departamentos*



*Fuente: Nexo Inmobiliario, 2022*

Con respecto a la parte exterior de la envolvente, se puede apreciar que cuenta con muchas ventanas y balcones al lado de la calle El Alcázar, esto es beneficioso ya que, permite aprovechar

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

mejor la ventilación natural. Sin embargo, la envolvente exterior está pintada de color terracota, lo cual no favorece a la envolvente ya que, está expuesta al sol después del mediodía. Lo recomendable sería, usar colores claros ya que, cuentan con un índice de reflectancia solar más alto que los colores oscuros y contribuyen a la duración del revestimiento. Ver Figura 13:

Figura 13: Porcentajes de áreas con y sin influencia del sol por pisos de los departamentos

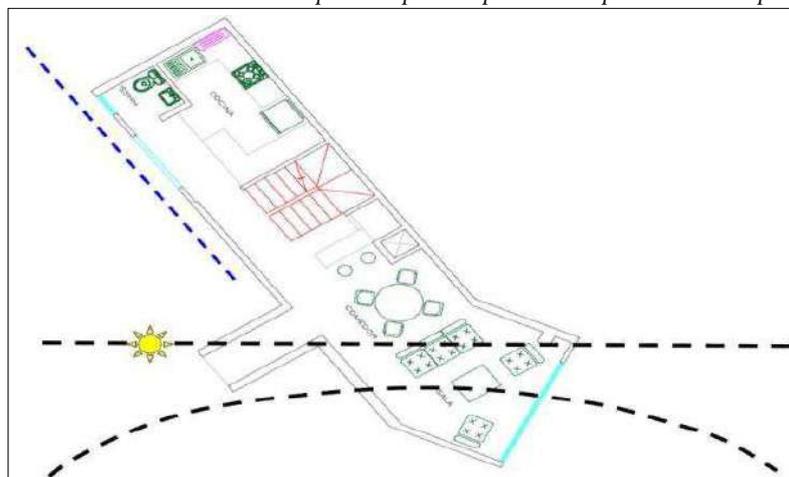


Fuente: Nexo Inmobiliario, 2022

#### 4.5 Alternativas de ventilación mecánica para los bloques

Según lo expuesto anteriormente, se ha identificado a el primer piso del departamento triplex 07 como el más crítico con respecto a la ventilación e iluminación natural. De tal manera que, se propone la instalación de ventilación mecánica en la cocina para que se equilibre la ventilación en todo el piso. Ver Figura 14, la ventilación mecánica se puede identificar por el color magenta.

Figura 14: Ventilación mecánica para el primer piso del departamento triplex 07

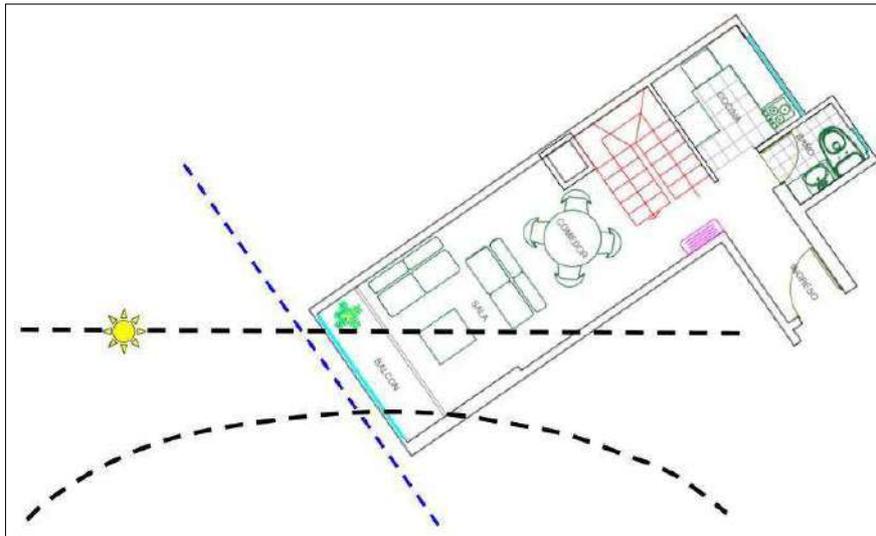


Fuente: Elaboración propia

Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

Así mismo, el primer piso del departamento triplex 01 es el segundo más crítico con respecto a la ventilación e iluminación natural. De la misma manera, se propone la instalación de ventilación mecánica en el pasadizo para que se equilibre la ventilación en todo el piso. Ver Figura 15, la ventilación mecánica se puede identificar por el color magenta

Figura 15: Ventilación mecánica para el primer piso del departamento triplex 01



Fuente: Elaboración propia

## v. CONCLUSIONES

Se concluye que los pisos 1 y 2 de todos los departamentos al tener menos incidencia solar, son más propensos a la proliferación del moho. Siendo el más crítico el piso 2 del departamento triplex 01 con incidencia solar del 12.28% del área total.

Sin embargo, se concluye que las terrazas son los espacios con mayor incidencia solar y ventilación natural. Siendo el más favorable la terraza del departamento triplex 05 con incidencia solar del 73.35% del área total. Por consiguiente, es beneficioso para la salud humana contar con espacios con incidencia solar ya que, mitiga la proliferación de las bacterias y mejora la calidad del aire interior en espacios cerrados.

Con respecto a la proliferación del moho, se concluye que, está directamente ligado a la incidencia solar. Por lo tanto, los primeros pisos son los más afectados al tener un alto porcentaje de área no ventiladas. Los ambientes como las cocinas, baños e ingresos son los espacios más afectados.

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar "El Alcazar"

---

Por otro lado, los departamentos que cuentan con ventanas paralelas a la calle "El Alcázar" son las más beneficiadas con respecto a la ventilación natural ya que, la dirección del viento es perpendicular a dicha calle desde el Suroeste hacia el Noreste.

Otra conclusión es que los departamentos al tener colores interiores blancos y tonos claro, favorece a la captación de la luz natural. Sin embargo, la fachada al estar pintada de un tono oscuro, cuenta con un bajo índice de reflectancia solar, lo que conlleva a una menor duración del revestimiento.

Finalmente, se concluye que en los primeros pisos de los departamentos triplex 01 y 07 es necesario la instalación de ventilación mecánica en los espacios con menor incidencia solar.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda mantener ventilados los espacios interiores para evitar la proliferación del moho.

Si va a adquirir un departamento que cuide la salubridad de los propietarios con respecto a la contaminación del aire, es importante conocer la incidencia solar con respecto a sus espacios interiores, la dirección del viento con respecto a las ventanas, las áreas verdes y cercanía a parques ya que, influyen mucho en la mejora del aire interior.

Si su departamento tiene espacios muy cerrados con poca ventilación natural es recomendable usar ventilación mecánica con energía renovable como paneles solares.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas (ONU): Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire: comunicado de prensa de la ONU. (2021).
- [2] El País: ¿Cómo afecta la contaminación del aire a la salud? Contingencia ambiental en México. Disponible en línea: [https://elpais.com/internacional/2016/04/08/mexico/1460133128\\_612673.html](https://elpais.com/internacional/2016/04/08/mexico/1460133128_612673.html) (consultado el 21 de mayo de 2022).
- [3] Organización de las Naciones Unidas (ONU): Construir un mundo mejor. Cómo contribuyen los edificios a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU: Informe GBCE y DGNB. (2021).
- [4] Castro, C.: La función de la envolvente en los edificios. En: Ecoconstrucción, revista de construcción sostenible. (2020).
- [5] Mansour, W.: Optimización del rendimiento térmico de la envolvente de edificios paramétricos basada en la inspiración biomimética. En: Ain Shams Engineering, vol. 12, pp. 1133-1142. (2021).
- [6] Shrubsole, C.; Dimitroulopoulou, S.; Foxall, K.; Gadeberg, B.; Doutsis, A.: Directrices del IAQ para compuestos orgánicos volátiles seleccionados (VOCs) en el Reino Unido. Environ. 2019, 165, 106382.
- [7] USEPA: Calidad del aire interior. Disponible en línea: <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality> (consultado el 22 de mayo de 2022).
- [8] Kim, J., Hong, T., Kong, M., Jeong, K.: La respuesta psicofisiológica de los ocupantes del edificio al clima interior y los cambios en la concentración de CO<sub>2</sub> en los edificios de oficinas. Build. Environ. 2020, 169, 106596.
- [9] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MIMVIV): Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica E.M. 030 Instalaciones de ventilación [Decreto Supremo N° 232-2020-VIVIENDA]. (2020).
- [10] USEPA: ¿Cómo entra el aire exterior en un edificio? Disponible en línea: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/how-does-outdoor-air-enter-building> (consultado el 22 de mayo de 2022).
- [11] ASHRAE Standard: ANSI/ASHRAE Standard 62.1. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. (2019).

Evaluación de la envolvente en relación al aire interior y exterior asociado a la salud, caso de estudio: proyecto multifamiliar “El Alcazar”

---

- [12] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MIMVIV): Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética [Decreto Supremo N° 001-2022-VIVIENDA]. (2022).
- [13] ISO 7730:2006: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.
- [14] Sushil-Kumar, TVK., Chandrasekar, J., Kumar-Moorthy, S., Sakthikala A. y Arvind-Bharat, SR.: Optimización de la envolvente del edificio para reducir el aire acondicionado. En RICT, Vol. 9(4), pp 2-2. (2016).
- [15] Mishra, S. y Rashmi, S.: Rendimiento térmico de la envolvente del edificio. En IJERT, vol. (9) pp 1-1. (2020).
- [16] Andreoni, S. y Ganem, C.: Influencia del uso y gestión de la envolvente en el comportamiento térmico de verano de una vivienda en la ciudad de Mendoza, Argentina. En: Revista Habitat Sustentable, vol. 7. (2017).
- [17] Yonghui Li., Xinyuan D., Changchang X., Yan M., Daisuke O., Shûichi H.: El efecto de la fuga de aire a través de las cavidades de aire de las paredes de los edificios sobre los riesgos de crecimiento de moho. En: Energías MDPI, vol. 13. (2020).
- [18] Ugochukwu, E., Cemil, A., Ifeoluwa, O. y Abiola, O.: Prevención de riesgos para la salud relacionados con la humedad en la etapa de diseño de edificios en climas mediterráneos: un estudio de caso de Chipre. En Edificios MDPI, vol. 8. (2018).
- [19] Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, [versión 23.4 en línea]. <<https://dle.rae.es>>
- [20] Castillo Quimis, E. L., Mite Pezo, J. A., & Pérez Arévalo, J. J.: Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. Universidad y Sociedad, 11(4), 303-309. (2019).
- [21] Medina-Patrón, N., & Escobar-Saiz, J.: Envoltentes eficientes: relación entre condiciones ambientales, espacios confortables y simulaciones digitales. Revista de Arquitectura (Bogotá), 21(1), 90-109. (2019).
- [22] Lin, Y.; Yuan, X.; Yang, W.; Hao, X.; Li, C.: Una revisión sobre la investigación y el desarrollo de productos saludables Edificio en China. Edificios 2022,12, 376. (2022).
- [23] Rajagopalan, P.; Goodman, N.: Mejora de la calidad del aire interior de los edificios residenciales durante los eventos de humo de incendios forestales. Climatizado 2021, 9, 32. (2021).

Gustavo Salazar Acuat, Yony Mayhua Escobar, Susana Dávila Fernández

---

- [24] Birtürk, A., Ekren, O., Aktakka, S., Özel, Ö. y Toksoy, M.: Ventilación mecánica con energía solar: un estudio de caso. En Instituto de Energía Solar, Universidad de Ege, Izmir, Turquía. (2019).
- [25] Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K.: Manual de términos de investigación científica, tecnológica y humanística. Bussiness Support Aneth S.R.L., Lima-Perú. (2018).
- [26] Nexo Inmobiliario: Proyecto "El Alcazar 255". Disponible en línea: Herramientas para consumidores y diseñadores de energía solar. Disponible en línea: <https://www.sunearthtools.com/> (consultado el 30 de mayo de 2022).
- [27] Meteoblue: Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Lima. Disponible en línea: <https://www.meteoblue.com/> (consultado el 30 de mayo de 2022).

# Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral

## *Earthquake resistant behavior in buildings with the implementation of the metal structural system of rigid perimeter grid*

Natalie Huerta de la Cruz, Eduardo Mayhuire Zuñiga, Esther Vargas Chang  
Facultad de Ingeniería Universidad Ricardo Palma.

RECIBIDO: 20 de enero

ACEPTADO: 18 de mayo

### RESUMEN

La investigación está enfocada en el estudio del comportamiento sismorresistente de dos sistemas estructurales: el sistema metálico de rejilla rígida perimetral y sistemas convencionales existentes en nuestro entorno, específicamente en terrenos ubicados en zonas sísmicas “4” tales como Lima Metropolitana. La delimitación territorial es al mayor riesgo sísmico al que se someten las edificaciones en comparación a otras regiones donde no se han registrado movimientos telúricos de gran importancia. De este modo, al simular las edificaciones en los peores escenarios de impacto estructural, se obtendrán resultados mucho más eficientes y realistas en lo que respecta a su comportamiento estructural en la realidad. Las estructuras con el sistema metálico de rejilla rígida se analizaron de acuerdo con el número de pisos y al ángulo de inclinación de cada rejilla, asimismo, en base a las especificaciones y requerimientos técnicos brindados por la Norma Técnica Peruana E.030: Diseño Sismorresistente, se procedió a modelar cada estructura haciendo uso de un software ingenieril y de este modo a través de la obtención de resultados poder cuantificar el comportamiento sísmico de las edificaciones.

**Palabras clave:** Análisis sísmico, sistema estructural Diagrid, análisis dinámico, comportamiento sísmico.

### Cómo citar

N. . Huerta de la Cruz, E. Mayhuire Zuñiga, y E. Vargas Chang, «Comportamiento sismorresistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral», *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 19, n.º 19, pp. 55–66, jun. 2023.

### ABSTRACT

The research is focused on the study of the seismic behavior of two structural systems: the metallic system of rigid perimeter grid and existing conventional systems in our environment, specifically in land located in seismic zones "4" such as Metropolitan Lima. The territorial delimitation is the greater seismic risk to which the buildings are subjected in comparison to other regions where no telluric movements of great importance have been registered. By simulating the buildings in the worst scenarios of structural impact, we will be able to get more efficient and realistic results in relation to their real structural behavior. The rigid grid steel system structures were analyzed according to the number of storeys and the inclination angle of each grid, likewise, based on the technical specifications and requirements provided by the “Norma Técnica Peruana E.30: Diseño Sismorresistente”, we proceed to model each structure using a engineering software and in this way, through the obtention of the results, we will be able to quantify the seismic behavior of the buildings. Furthermore, it can be verified that opting to use the steel structural system does not imply exorbitant overhead charges in comparison to any conventional system.

**Keywords:** Seismic analysis, Diagrid structural system, dynamic analysis, seismic behavior.

Este artículo esta publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## 1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería sísmica ha permitido conocer el comportamiento de las estructuras ante los sismos, facilitando a los profesionales de esta materia diseñar sistemas antisísmicos más efectivos tales como el Diagrid o rejilla rígida perimetral. Esta ciencia integra diversos conocimientos estructurales y sismológicos para lograr un diseño sismorresistente. El sistema estructural Diagrid fusiona dos subsistemas existentes que permiten una efectiva disipación de energía a través de la correcta cohesión de sus principales elementos estructurales antisísmicos.

En los últimos años se muestra un aumento de la población, lo cual implica una mayor demanda en las obras de edificios de gran altura. Este incremento vertical de las construcciones provoca que existan más grandes indagaciones relacionadas con las respuestas sísmicas que logren tener los inmuebles frente a cualquier acontecimiento telúrico, a fin de defender y de asegurar la estabilidad de los individuos que las habiten.

Por tal motivo, se presenta la siguiente investigación, mediante procedimientos analíticos y modelamiento numérico apoyados de la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente y de un software ingenieril, se busca cuantificar la respuesta dinámica de una estructura diseñada con sistema estructural Diagrid, a fin de evaluar la eficiencia de este sistema de disipación energética frente a algún evento sísmico.

Para lo cual, se realiza un análisis dinámico del edificio con sistema estructural Diagrid obteniendo su respuesta sísmica en cuanto a derivas, desplazamientos, esfuerzos torsionales y fuerzas cortantes, a fin de cuantificar la mejora del comportamiento estructural en comparación de los sistemas estructurales convencionales. Con ello se generan las conclusiones correspondientes, las cuales responden a los objetivos e hipótesis, y se presentan recomendaciones que se deben tener en cuenta para futuras investigaciones.

## 2. OBJETIVOS

Objetivo General:

- Determinar de qué manera el sistema metálico de rejilla rígida perimetral influye en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones.

Objetivos específicos:

- Determinar la influencia del número de pisos de una edificación con sistema estructural metálico de rejilla rígida en su comportamiento sismorresistente.
- Determinar de qué manera el grado de inclinación de las rejillas en el sistema estructural metálico de rejilla rígida influye en su comportamiento sismorresistente.

### 3. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, debido a que el estudio se enfoca en medir las variables en un sistema numérico, analizando estas medidas usando una variedad de modelos estadísticos, reportando relaciones y asociaciones entre estas variables.

Para el procesamiento de datos, se hace uso del programa Excel, para determinar los factores y parámetros de mayor incidencia en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones con sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral. Finalmente, se realizan cuadros comparativos entre los indicadores y dimensiones de cada variable.

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de Resultados

##### 4.1.1. Primer Modelamiento por Sukrawa M., Pringanna, G. y Tryatra, P. (2019)

El primer modelamiento comprende de una edificación de 10 pisos analizado con tres diferentes sistemas estructurales: Diagrid, de Pórticos Convencionales y de Arriostres Metálicos. De acuerdo con ello, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1..

Tabla 1

*Relación de fuerzas internas relativa al Sistema Diagrid.*

Story	Bending Moments				Shear Forces		Axial Forces	
	MF		BF		MF	BF	MF	BF
	Beam	Core Col.	Beam	Core Col.	Beam	Beam	Core Col.	Core Col.
2	6,93	17,42	0,58	3,08	4,05	0,56	0,86	1,24
3	3,41	6,8	0,63	2,61	2,55	0,58	0,84	1,18
4	3,49	4,93	0,66	3,08	2,52	0,57	0,83	1,14
5	2,82	4,44	0,66	2,51	2,25	0,59	0,83	1,12
6	2,74	6,35	0,66	3,49	2,19	0,6	0,82	1,09
7	2,6	4,63	0,67	3,43	2,14	0,61	0,82	1,06
8	2,45	3,73	0,64	3,25	2,04	0,61	0,82	1,02
9	2,22	6,33	0,58	3,6	1,96	0,62	0,82	0,92
10	2,01	4,53	0,59	3,15	1,83	0,62	0,83	0,79
Roof	1,76	4,52	0,65	3,99	1,85	0,66	0,94	0,77

Fuente: Sukrawa M, Pringanna, G., Tryatra, P., 2019.

Asimismo, se muestra en la Tabla 2 los desplazamientos por piso de la edificación analizada.

Tabla 2  
Desplazamiento por piso.

Story	Diagrid	Moment Frame	Braced Frame
	Earthquake	Earthquake	Earthquake
storey 0	0	0	0
storey 1	2	25	2
storey 2	5	50	5
storey 3	7	70	10
storey 4	9	95	19
storey 5	11	121	27
storey 6	16	140	39
storey 7	17	156	47
storey 8	20	168	55
storey 9	22	175	62
storey 10	25	176	69

Fuente: Sukrawa M, Pringanna, G., Tryatra, P., 2019.

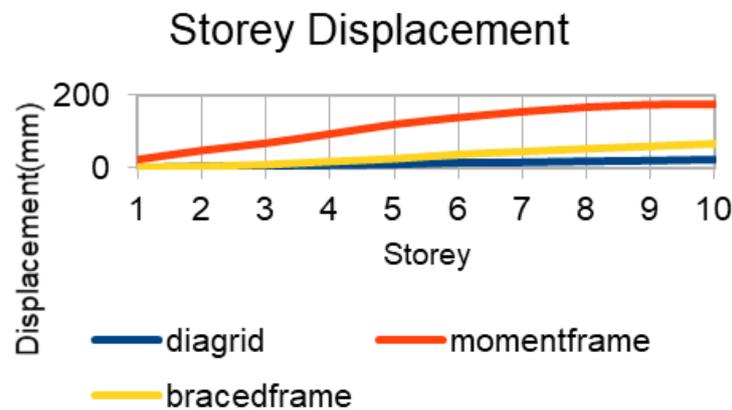


Figura 1: Desplazamientos laterales causados por las fuerzas horizontales de sismo por cada sistema estudiado. Nota: Sukrawa, M., Pringgana, G., Diva, P. (2019).

Los resultados evidencian un superior comportamiento sismorresistente por parte del sistema estructural Diagrid. Los desplazamientos en el último piso demuestran de manera notable la gran capacidad de este sistema innovador para manejar y soportar las diferentes fuerzas aplicadas sobre la edificación, como se muestra en la Figura 1.

Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimental

---

#### 4.1.2. Segundo Modelamiento por Rudrappa, P., Maheshwarappa, S. (2018)

El segundo modelamiento consta de una edificación de 12 pisos, la cual será analizada con dos principales sistemas estructurales: Diagrid y de pórticos. A su vez, el sistema estructural Diagrid se analiza de acuerdo con el ángulo de inclinación de las rejillas componentes, el cual varía entre  $40^\circ$  a  $80^\circ$ . Esto quiere decir que hay un análisis sismorresistente por cada ángulo de inclinación establecido en las investigaciones. De esta manera, se obtienen los resultados de la Tabla 3 y Figura 2.

Tabla 3:

*Fuerza Cortante Basal por cada modelo estructural planteado.*

Base Shear (kN)			
Model	Type of Structure	Diagrid Angle	Base Shear (kN)
M1	Conventional (Frame B.)	-	2734,94
M3	Diagrid	$41,18^\circ$	10526,76
M4	Diagrid	$52,69^\circ$	9270,88
M5	Diagrid	$60,25^\circ$	8921,62
M6	Diagrid	$69,14^\circ$	7190,55
M14	Diagrid	$74,05^\circ$	8042,44

Fuente: Rudrappa, P., Maheshwarappa, S., 2018.

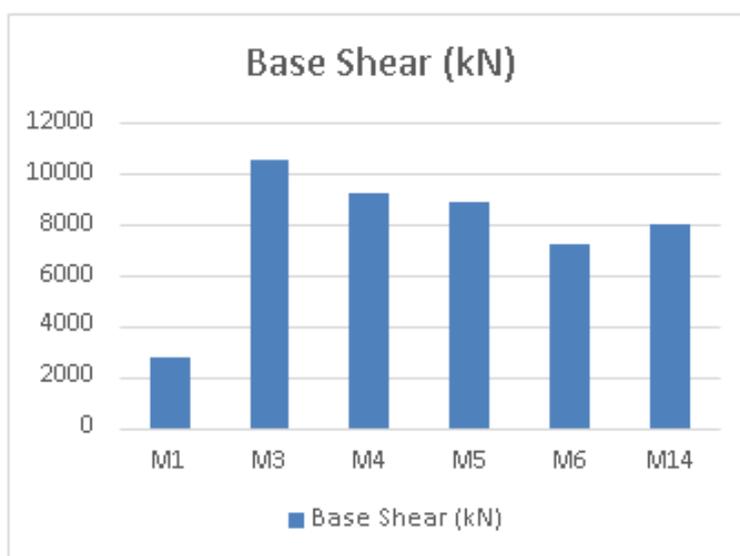


Figura 2: Fuerza Cortante Basal por modelo estructural planteado. Nota: Rudrappa, P., Maheshwarappa (2018)

Tabla 4:

*Desplazamiento del último piso por cada modelo estructural planteado.*

Top Storey Displacement (mm)			
Model	Type of Structure	Diagrid Angle	Top Storey Displacement (mm)
M1	Conventional (Frame B.)	-	83,15
M3	Diagrid	41,18°	27,09
M4	Diagrid	52,69°	26,3
M5	Diagrid	60,25°	30,06
M6	Diagrid	69,14°	35,85
M14	Diagrid	74,05°	37,72

Fuente: Rudrappa, P., Maheshwarappa, S., 2018.

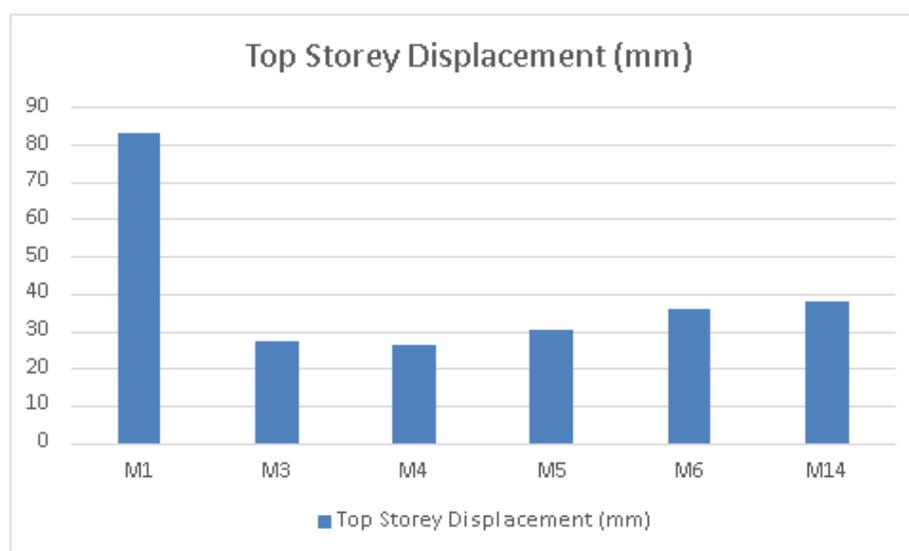


Figura 3: Desplazamiento del último piso por cada modelo estructural planteado. Nota: Rudrappa, P., Maheshwarappa (2018)

La Tabla 4 y Figura 3 demuestran que el comportamiento sismorresistente del sistema estructural convencional de pórticos es inferior o ineficaz frente a la respuesta sísmica de los sistemas estructurales Diagrid. Esto se evidencia principalmente en los desplazamientos máximos por cada sistema estructural propuesto.

#### 4.1.3. Tercer Modelamiento por Quiroz, A., Terán, A. y Serrano, M. (2017)

El tercer modelamiento propuesto, trata de una edificación de 25 pisos, que es analizada con la aplicación del sistema estructural innovador Diagrid y el sistema tradicional de pórticos. Cabe resaltar que las investigaciones establecen un ángulo de inclinación de  $70^\circ$  a las rejillas perimetrales que componen el sistema estructural Diagrid.

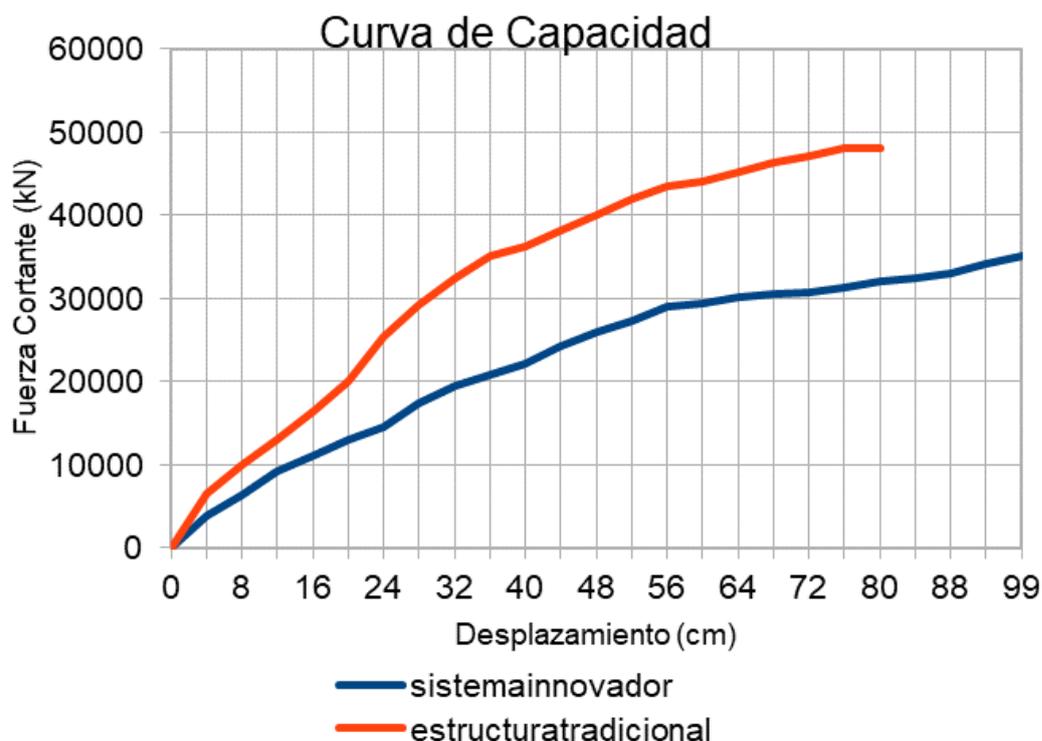


Figura 4: Curva de capacidad del sistema innovador Diagrid y sistema estructural tradicional. Nota: Quiroz, A., Terán, A. y Serrano, M. (2017)

La Figura 4 constata la eficiente capacidad estructural del sistema innovador Diagrid frente al sistema tradicional de pórticos en cuanto a ductilidad, debido a que el mecanismo de disipación de energía del sistema Diagrid le permite adoptar o soportar mayores desplazamientos relativos sin que la edificación padezca de daños estructurales considerables en sus elementos.

#### 4.1.4. Cuarto Modelamiento por Quispe, F. (2021)

El cuarto modelamiento consta de una edificación de 8 pisos con la aplicación del sistema estructural de rejilla rígida perimetral o Diagrid. En base a ello, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 5 y Figura 5 en cuanto a desplazamientos relativos por cada piso en dos principales direcciones de análisis.

Tabla 5:  
Desplazamiento relativo de cada piso en modelo estructural Diagrid.

Story	UX (cm)	UY (cm)
Piso 08	0,0273	0,0314
Piso 07	0,0273	0,0308
Piso 06	0,0258	0,0287
Piso 05	0,0219	0,0248
Piso 04	0,0176	0,0209
Piso 03	0,0146	0,0171
Piso 02	0,0098	0,0105
Piso 01	0,0049	0,0047

Fuente: Quispe, F., 2021.

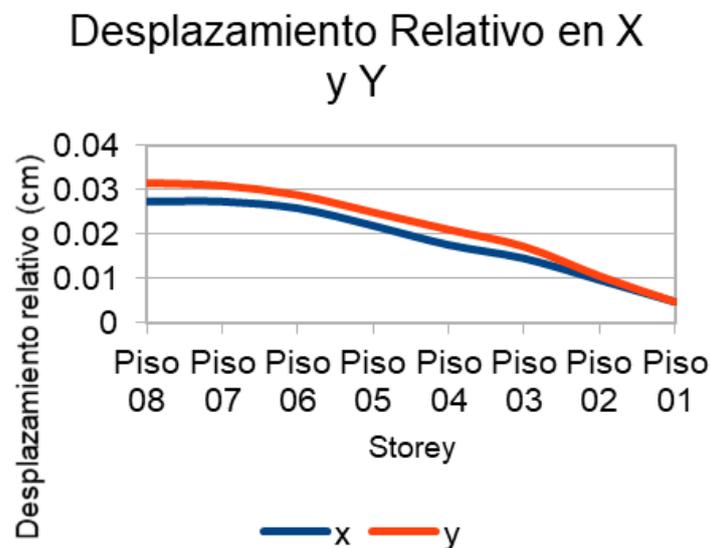


Figura 5: Desplazamiento relativo de cada piso en modelo estructural Diagrid. Nota: Quispe, F. (2021)

#### 4.1.5. Quinto Modelamiento por Núñez, J. (2018)

El último modelamiento trata de una edificación de 6 pisos, la cual es analizada con la aplicación de dos principales sistemas estructurales: De pórticos y Diagrid, este último a su vez se examina con dos variaciones en cuanto a las características propias de las rejillas perimetrales componentes del sistema; resultados que se muestra en la Tabla 8.

Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral

Tabla 8:

*Desplazamiento por piso de cada modelo estructural planteado.*

Desplazamiento en X (cm)			
Nivel	Convencional	Diagrid Tipo A	Diagrid Tipo B
0	0	0	0
1	0,8	0,15	0,1
2	2,1	1,1	1,7
3	3,99	2,02	2,53
4	5,96	2,5	3
5	7,8	3,01	3,95
6	9,75	3,94	4,5

Fuente: Núñez, J., 2018

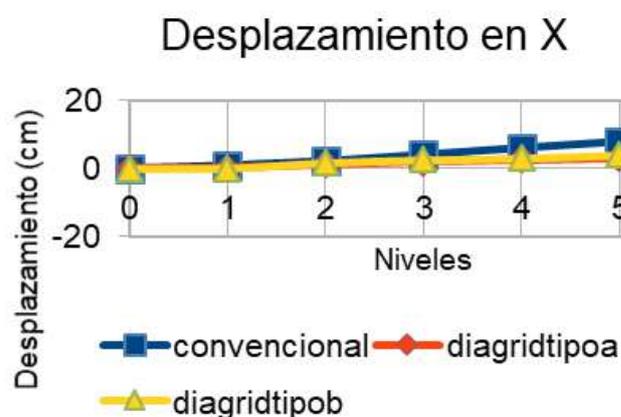


Figura 6: Desplazamiento por piso de cada modelo estructural planteado. Nota: Núñez, J. (2018)

En la Figura 6 constata de manera notable, la superioridad del sistema estructural Diagrid frente al sistema convencional de pórticos en cuanto al comportamiento sismorresistente, esto debido a la diferencia apreciable entre los desplazamientos máximos en cada sistema producidos por la acción sísmica aplicada en la edificación.

#### 4.2. Análisis de Resultados

Tabla 9:

*Desplazamientos máximos en cada modelamiento con los diferentes sistemas estructurales planteados.*

Natalia Huerta de la Cruz, Eduardo Mayhuire, Esther Vargas Chang

Modeling	Structural System	Top Storey Displacement (mm)
First modeling	Diagrid	25
	Moment Frame	176
	Braced Frame	69
Second Modeling	M1 Conventional	83,15
	M3 Diagrid	27,09
	M4 Diagrid	26,3
	M5 Diagrid	30,06
	M6 Diagrid	35,85
Fifth Modeling	M14 Diagrid	37,72
	Conventional	97,5
	Diagrid Type A	39,4
	Diagrid Type B	45

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados constatan que la aplicación del sistema estructural Diagrid supera a los otros sistemas estructurales planteados en cuanto al comportamiento sismorresistente, esto se evidencia principalmente en los desplazamientos máximos obtenidos en cada edificación analizada, como se aprecia en la Tabla 9. Por lo tanto, el sistema metálico de rejilla rígida perimetral favorece el comportamiento sismorresistente de edificaciones.

Tabla 10:

*Desplazamientos del último piso de edificaciones con sistema estructural de rejilla rígida perimetral.*

	Modelo Diagrid	
	Primera Edificación	Segunda Edificación
Autores	Sukrawa, M., Pringanna, G., Tryatra, P.	Rudrappa, P., Maheshwarappa, S.
Desplazamiento Último Piso (mm)	25	35,85
Número de Pisos	10	12
Ángulo de Inclinación (°)	65	69,14

Fuente: Elaboración Propia.

Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural  
metálico de rejilla rígida perimental

---

Tabla 11:  
*Incremento de desplazamiento por piso.*

Modelo Diagrid	
Incremento de Desplazamiento por Piso (mm)	5,43
Incremento de Desplazamiento por Piso (%)	21,70%

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 10 y Tabla 11 se comprueba que el número de pisos en una edificación con sistema estructural metálico de rejilla rígida sí influye en su comportamiento sismorresistente. Se ha constatado que mientras más pisos tenga una edificación, mayor será el desplazamiento lateral en el último piso, este incrementará aproximadamente en un 20% por cada piso en aumento.

Tabla 12:  
*Incidencia del ángulo de inclinación en el incremento de desplazamiento por piso.*

Modelo Diagrid	
Incremento de Desplazamiento por Piso por Ángulo de Inclinación (mm)	2,62
Incremento de Desplazamiento por Piso por Ángulo de Inclinación (%)	10,48%

Fuente: Elaboración Propia.

De los resultados mostrados en la Tablas 10 y Tabla 12, se concluye que en efecto el grado de inclinación de las rejillas en el sistema estructural metálico de rejilla rígida de una edificación influye en su comportamiento sismorresistente. Los desplazamientos laterales máximos en una edificación con sistema estructural metálico de rejilla rígida incrementan aproximadamente en un 10% por cada grado de inclinación que se incremente en la rejilla.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- El sistema metálico de rejilla rígida influye en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones, esto se evidencia gracias al aporte que brinda cada elemento estructural componente. Asimismo, de acuerdo con los resultados de otras investigaciones, se puede constatar que el propio sistema le brinda mayor ductilidad a todo el edificio en operación, esto inhibe mayores daños estructurales en todo el edificio.
- El número de pisos en la edificación con sistema estructural Diagrid, influye en el comportamiento sismorresistente de la misma, los desplazamientos totales en el último piso se incrementan en un alrededor del 20% por cada piso en aumento.
- El grado de inclinación de las rejillas en el sistema estructural metálico de rejilla rígida de una edificación influye en su comportamiento sismorresistente, los desplazamientos totales en el último piso se incrementan en un alrededor del 10% por cada grado de inclinación en aumento.
- Si el grado de inclinación de las rejillas en el sistema Diagrid aumenta en gran medida, se podría comprometer de manera perjudicial el comportamiento sismorresistente del edificio, en el sentido de que habrá mayores desplazamientos laterales en cada piso. El grado de inclinación de las rejillas está relacionado con la altura de la edificación, mientras más alto el edificio, mayor será el grado de inclinación de las rejillas.
- Es recomendable trabajar con el mayor número de investigaciones relacionadas al producto final, debido a que existen diversos factores a tomar en cuenta, y cada investigador podría tener una perspectiva diferente en cuanto al cálculo y obtención de resultados. En temas como ingeniería estructural e ingeniería sismorresistente, cada parámetro o especificación a trabajar, podría influir de manera importante los resultados de la investigación. Por ello siempre se recomienda revisar todas las especificaciones de la metodología en cada investigación a usar en una tesis descriptiva, porque los resultados finales de cada documento a reunir podrían no estar relacionados en su totalidad.
- Se recomienda promover e incentivar el estudio de nuevos sistemas estructurales capaces de brindar a la edificación un comportamiento sismorresistente eficiente, sistemas cuyo mecanismo de disipación de energía sea el más competente, en cuanto a desplazamientos relativos máximos y daños estructurales en la edificación. Una de las funciones principales de cualquier edificación es brindar confianza y seguridad a cualquier persona o ciudadano que la ocupe, es por eso por lo que se destaca la importancia de la continua búsqueda de mejores sistemas estructurales, así como la exigencia de los ingenieros para brindar un producto que beneficie completamente a la población.

## Referencias Bibliográficas

- [1] J. Puma, “Atenuación sonora por barreras acústicas a base de residuos orgánicos para reducir el nivel de ruido en una Avenida principal, Puente Piedra, 2018”, tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3pF0sqB> [Accedido:30-dic-2021]
- [2] Resumen UNE EN 14388 “Dispositivos de reducción de ruido de tráfico de carreteras. Especificaciones”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3FGHaXf> [Accedido:30-dic-2021]
- [3] Resumen UNE EN 1793-1 “Características relativas a la absorción acústica”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/32QnVfz> [Accedido:30-dic-2021]
- [4] Resumen UNE EN 1793-2 “Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/32Flood> [Accedido:30-dic-2021]
- [5] Resumen UNE EN 1794-1 “Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3JmXK0C> [Accedido:30-dic-2021]
- [6] Resumen UNE EN 1794-2 “Requisitos en relación con la seguridad general y el medio ambiente”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3qxSEpT> [Accedido:30-dic-2021]
- [7] R. Quirós, “Estudio de pantallas acústicas elaboradas a partir de green composites”, tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2013 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3sLqQkG> [Accedido:30-dic-2021]
- [8] “Pantalla Acústica Metálica”, Insametal, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://insametal.es/pantalla-acustica-metalica/> [Accedido:30-dic-2021]
- [9] M. Serrano, L. Abad, R. Magro, y T. García, “Estudio de la tipología de las pantallas acústicas. Normativa y estado del arte”, Tecnología y desarrollo, vol. 7, pp. 1-44, 2009 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ezCh6v> [Accedido:30-dic-2021]
- [10] L. Romero, D. Bravo, y C. Tufiño, “Contaminación sonora en el paradero Benavides en la ciudad de Lima y la afectación en poblaciones aledañas (horario diurno)”, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/33YQgAG> [Accedido:30-dic-2021]



# Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

## *Energy efficiency in the neoplastic hospital – Surquillo - Lima after the covid-19 pandemic*

**Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández|**  
Universidad Ricardo Palma

RECIBIDO: 18 de mayo 2023

ACEPTADO: 05 de junio

### RESUMEN

El objetivo del estudio evaluó la demanda energética y el costeeconómico del Hospital de Neoplásicas COVID-19 en su intervención de control de infecciones: tratamiento, diagnóstico y control de la enfermedad del Coronavirus. Tras proyectar hospitalizaciones por COVID.19, un modelo Energético Hospitalario e Infección. A partir del modelo se cuantificó los aumentos en la demanda de energía y las reducciones en las infecciones. Como parte de la normativa para hacer frente a la pandemia, el INEN pasó de tener 8 camas UCI (diciembre 2019) [13] a 39 camas UCI (diciembre 2021), lo que resulta en mayores costos de energía y operación. Las intervenciones pueden resultar en ahorros de costos realizados a través de la reducción de infecciones, pero simbolizan un incremento de energía que podría ser mitigado bajo la propuesta integral de un sistema híbrido con paneles fotovoltaicos. Los resultados nos confirman que el consumo de energía es proporcional a las temporadas de infección alta de COVID 19, cuando no había implementación para contener el virus, hizo que los pacientes estuvieran más días, por tanto, más consumo de energía eléctrica, en el primer trimestre del 2020, hubo una duración de paciente promedio 354.7 días con un costo de S/. 1,343,150.30. El modelamiento del sistema de panel híbrido según las dimensiones de la azotea permite implementar 683 paneles alrededor del hospital para reducir 488507 KWattH, para la distribución de alumbrado sería 146552 del total 366366.14 KWattH, permite reducir un 21% de energía, con una reducción de carbono de 5753.6 toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** Sistema Híbrido, eficiencia energética, COVID-19, camas UCI, INEN

### Cómo citar

D. V. Gálvez Ramírez y J. L. Huamán Valdez, «Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19», *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 19, n.º 19, pp. 15–54, jun. 2023.

### ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the energy demand and the economic cost of the Hospital for Neoplastic COVID-19 in its infection control intervention: treatment, diagnosis, and control of the Coronavirus disease. After projecting hospitalizations for COVID.19, a Hospital Energy and Infection model. From the model, increases in energy demand and reductions in infections were quantified. As part of the regulations to deal with the pandemic, INEN went from having 8 ICU beds (December 2019) [13] to 39 ICU beds (December 2021), resulting in higher energy and operating costs. The interventions may result in cost savings realized through the reduction of infections but symbolize an increase in energy that could be mitigated under the comprehensive proposal of a hybrid system with photovoltaic panels. The results confirm that the energy consumption is proportional to the seasons of high COVID 19 infections, when there was no implementation to contain the virus, it made the patients stay more days, therefore, more electricity consumption, in the first quarter of 2020, there was an average patient duration of 354.7 days with a cost of S/. 1,343,150.30. The modeling of the hybrid panel system according to the dimensions of the roof allows the implementation of 683 panels around the hospital to reduce 488507 KWattH of the total 366366.14 KWattH, it allows to reduce 21% of energy, with a carbon reduction of 5,753.55 tons of CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** Hybrid System, energy efficiency, COVID-19, ICU beds, INEN

Este artículo está publicado bajo la Licencia Creative Commons

Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La pandemia de la infección respiratoria emergente, Enfermedad por Coronavirus 2019 (COVID-19), ha generado un gran aumento en la importancia de los temas relacionados con la energía eficiencia [1] en edificios públicos y privados siendo un gran desafío para ciudades y sociedades saludables [2]. Bajo este contexto, hay un compromiso con el logro y la implementación de las Naciones Unidas Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC) [3] y las distintas Conferencias de las Partes, de la Asamblea Nacional Plan de Energía, Desarrollo Sostenible previsto por Naciones Unidas 2030 (ONU, CEPE, PNUMA) y Hospitales que curan el planeta 2020 promovido por la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables en América Latina [4].

La crisis de escasez de energía no puede ser considerado un problema ocasional e individual que pueda ser remediado con acciones simples de mitigación. Es un fenómeno global (con conceptos tales como espacios interiores y edificios saludables), que concierne a todos los ciudadanos y en especial, a profesionales del área técnica y administrativa como ingenieros, arquitectos y gobiernos. En respuesta a esta tendencia, y también dado el aumento de los costos (sanitaria y económica) que representa para la sociedad, se ha producido un gran incremento en la conciencia de la necesidad de enfoques orgánicos multinivel para enfrentar el desafío de Eficiencia Energética [5].

Las iniciativas de sostenibilidad se pueden utilizar para reducir el gasto en energía de los consumidores. Asimismo, una reducción significativa del uso energético minimiza los efectos de los gases de efecto invernadero en un largo periodo. La ecoeficiencia (eficiencia tecnológica), que se centra en el eficiente uso de recursos para una mejora económica y ambiental, se usa ampliamente para analizar el rendimiento sostenible a nivel industrial, regional y nacional [6].

Habiendo logrado avances significativos en sus indicadores macroeconómicos en los últimos diez años, el Perú es visto como un ejemplo de desarrollo económico y transformación en América Latina. Ciertamente, el país desde el 2004-2016 ha experimentado un promedio bruto anual de Crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) del 5.7%, según el Banco Mundial, 2019. Aunque el Perú ha visto un progreso considerable en el crecimiento y desarrollo económico a lo largo de los años, los indicadores del sector energético todavía necesitan mejora para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible y eficiencia energética. La emergencia de la COVID-19

---

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

---

ha sacado a la luz la cuestión, a menudo subestimada, del papel que la eficiencia energética influye en el estado de la salud humana [7], y que optimizar el uso de energía demandada es parte integral de los planes y programas de salud pública.

Los hospitales son edificios inherentemente intensivos en energía [8]. Por lo tanto, las operaciones hospitalarias requieren la evaluación de la eficiencia energética al evaluar las medidas de intervención de la enfermedad por COVID-19. Dadas las preocupaciones ambientales y de sostenibilidad, los estudios han trabajado en la evaluación de las demandas de energía de los hospitales en circunstancias normales comparadas con las exigencias energéticas tras la surgencia de la pandemia [9]. A escala mundial, la demanda de energía se ha desplomado durante la pandemia de COVID-19. Pero para el sector de la salud, dependiendo del área geográfica, las demandas de energía pueden ser más altas de lo habitual [10], el acceso a la energía y un desarrollo sustentable será fundamental para la prestación y atención médica oportuna.

El Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, INEN, área cubierta para el estudio de este artículo, es un centro especializado oncológico, fundado en 1939 inicialmente en Av. Alfonso Ugarte y reubicado en el año 1988 por la creciente demanda en la Av. Angamos Este N° 2520, distrito de Surquillo [11]. Previo al surgimiento de la pandemia de la COVID-19, el sistema de salud peruano presentaba una precaria infraestructura para atender a pacientes en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Con el fin de potenciar la capacidad de respuesta del sector salud, el Ministerio de Salud (MINSA) optó por incrementar el número de camas UCI a nivel nacional a través del Decreto de Urgencia N° 055-2020 [12]. Como parte de esta normativa, el INEN pasó de tener 8 camas UCI (diciembre 2019) [13] a 39 camas UCI (diciembre 2021) [14]. Naturalmente, las demandas de electricidad se han incrementado radicalmente producto de esa implementación acelerada del MINSA en un 387.5% de camas UCI.

Este estudio proporciona un marco de investigación para evaluar las implicaciones energéticas y aumentos en la demanda de energía y costos por la implementación de camas UCI a nivel intrahospitalario. A su vez, que resume los impactos y desafíos globales de la pandemia de COVID-19 en la demanda y consumo de energía. Los datos parciales utilizados en este documento se basan en Resoluciones Ministeriales e información de libre acceso por parte del INEN. Finalmente, se propone un sistema de eficiencia energética a través del empleo de un sistema híbrido (paneles fotovoltaicos) y su evaluación costo-beneficio como alternativa de mitigación del impacto energético en hospitales tras la pandemia.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

## **2. ANTECEDENTES Y CONTEXTO EN LA ACTUALIDAD EN EL PERÚ**

### ***2.1. Antecedentes***

En el año 2011, la ONU dio inicio a la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4All por sus siglas en inglés) con el fin de movilizar a todos los sectores de la sociedad hacia el objetivo de reducir el consumo de energía excesiva [15].

En particular para hoteles, clínicas y hospitales, Bancoldex creó en el 2015 una línea de crédito con el fin de promover proyectos de eficiencia energética validados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) en estos sectores, esta financiación se encuentra orientada en inversiones para cambios de calderas, cambios de aires acondicionados, sistemas de control de aire acondicionado, cogeneración de energía, energía para el calentamiento de agua y climatización de piscinas con energía solar [16].

Años más adelante, estas iniciativas se vieron frenadas debido a la llegada de un fenómeno sin precedentes que amenazó con destruir los avances ya logrados en la última década. A finales del año 2019, se dio a conocer el primer caso de SARS-CoV-2, coronavirus, en la ciudad de Wuhan, China. Poco tiempo pasó para que la propagación del virus esté por completo en el continente asiático y europeo. Es en el mes de marzo del año 2020 que se declara pandemia y situación de alerta a nivel mundial ante un virus de propagación rápida y que ha propiciado la activación de protocolos para detener su diseminación [17].

### ***2.2. Contexto en la actualidad peruana***

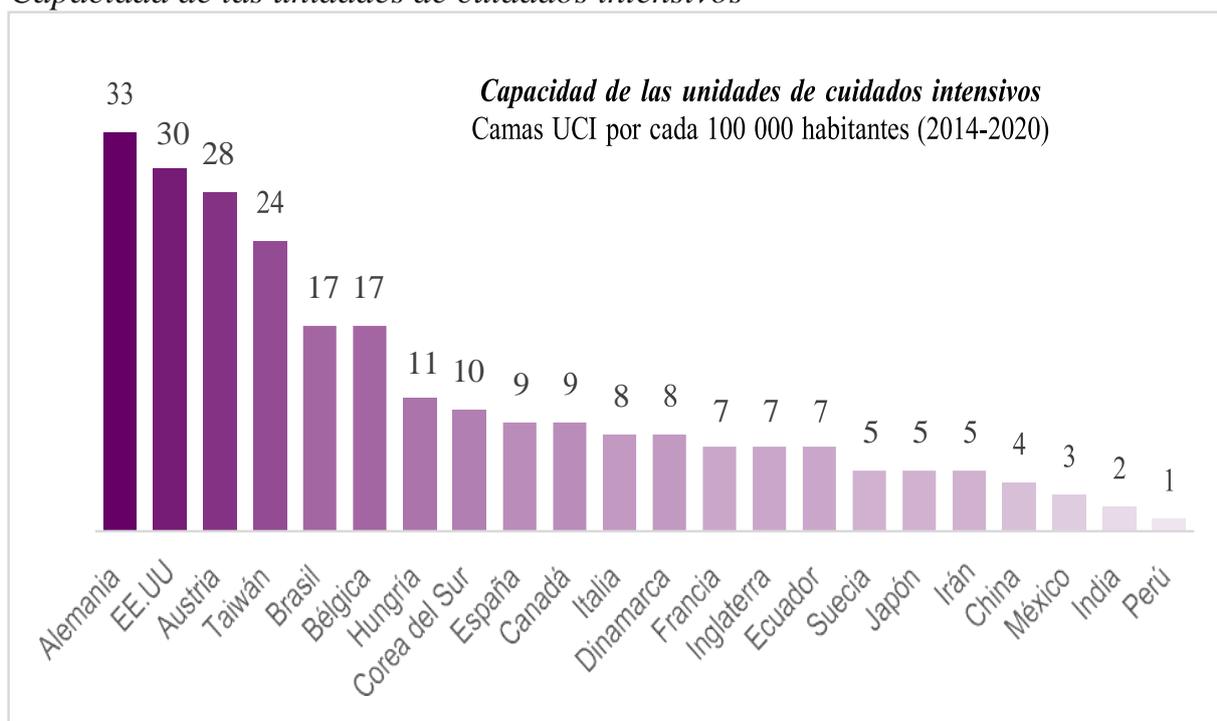
Ciertamente, a partir de la aparición de la pandemia de COVID-19 ha puesto a prueba severamente la atención médica existente, la infraestructura hospitalaria, y ha obligado a los gobiernos a gastar sumas significativas en mejorar y ampliar las instalaciones sanitarias existentes. Antes de la pandemia, el subsistema público en el Perú era totalmente precario. Los registros revelan que solo se contaba con 1 cama de UCI por cada 100 000 habitantes [18] (Ver Figura 1), una de las estadísticas menos favorecidas a nivel regional. Específicamente, en el Perú se optó por publicar el Documento Técnico: Lineamientos para el fortalecimiento de acciones de respuesta en establecimientos de salud, el cual establece la necesidad de plantear múltiples estrategias para el fortalecimiento del primer nivel de atención, entre ellas la implementación pronta

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

de más camas UCI [19] con el fin de aumentarlas ya 1179 camas de UCI, que por obvias razones no abastecían la demanda. (Ver figura 2).

**Figura 1**

*Capacidad de las unidades de cuidados intensivos*

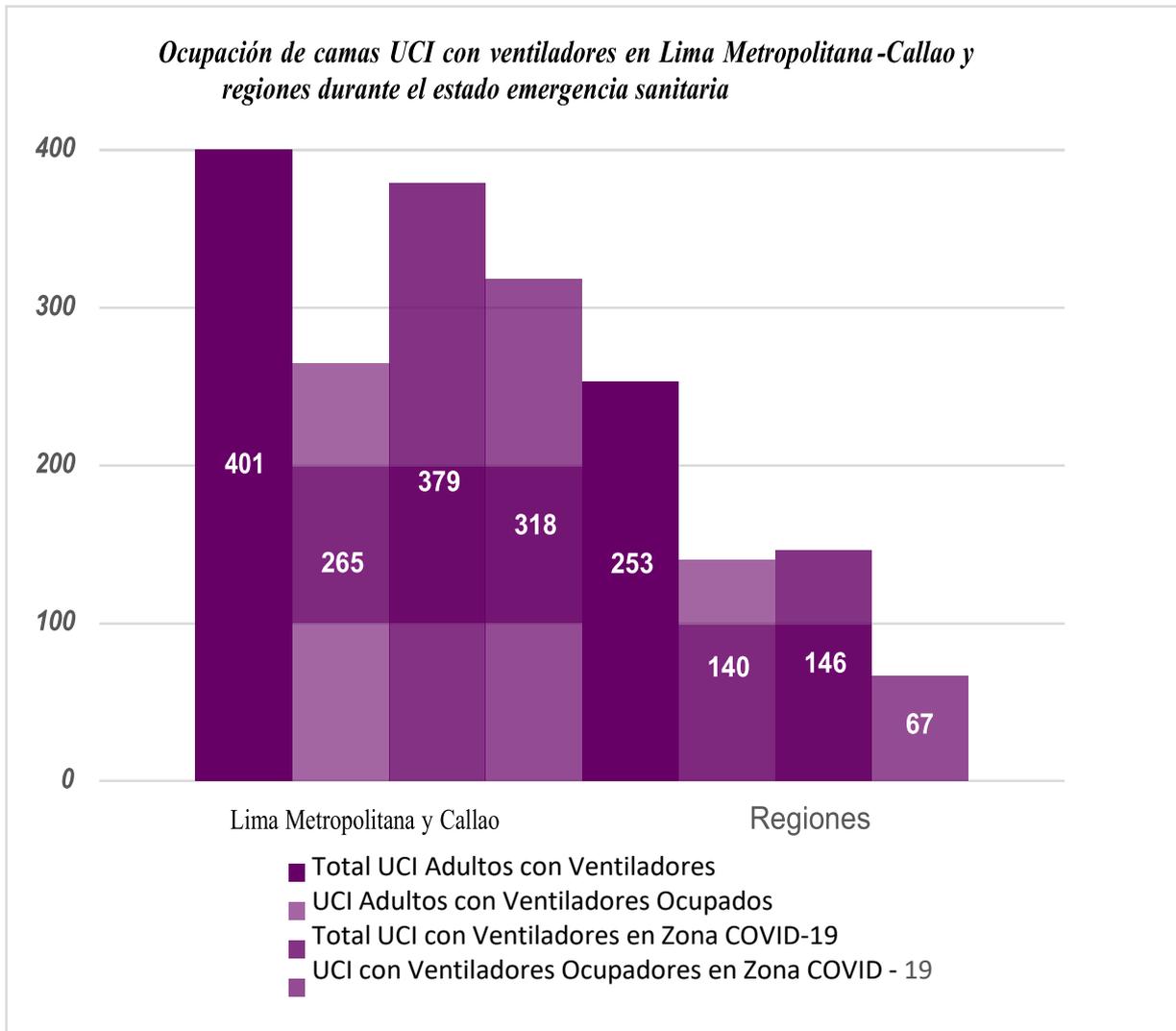


Nota: Camas de cuidados intensivos por cada 100 000 habitantes (último año disponible, 2014 – 2020). Tomado de: Moreno (2020).

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila, Susana I. Dávila Fernández

**Figura 2**

*Aplicativo para gestión centralizada de la disponibilidad de camas de hospitalización y UCI a nivel nacional*



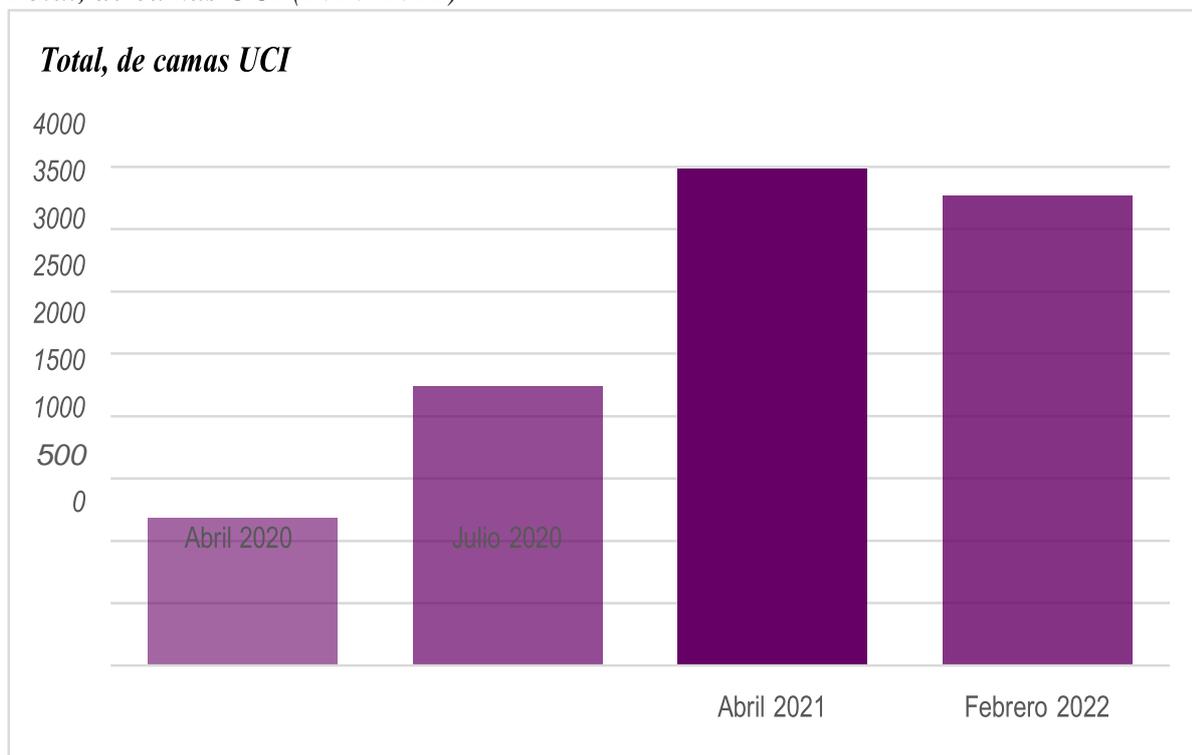
Nota: Ocupación de camas UCI con ventiladores en Lima Metropolitana - Callao y regiones durante el estado emergencia sanitaria. *Tomado de: Minsa (2020a).*

De acuerdo con la información de la Superintendencia Nacional de Salud (SuSalud), de abril de 2020 a febrero de 2022, en el Perú el número de camas de cuidados intensivos (UCI) aumentó en un 220% [20]. Pasaron de 1170 a 3771 en un lapso de aproximadamente 22 meses, producto de la respuesta de emergencia a la crisis sanitaria. (Ver Figura 3)

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

**Figura 3**

*Total, de camas UCI (2020-2022)*



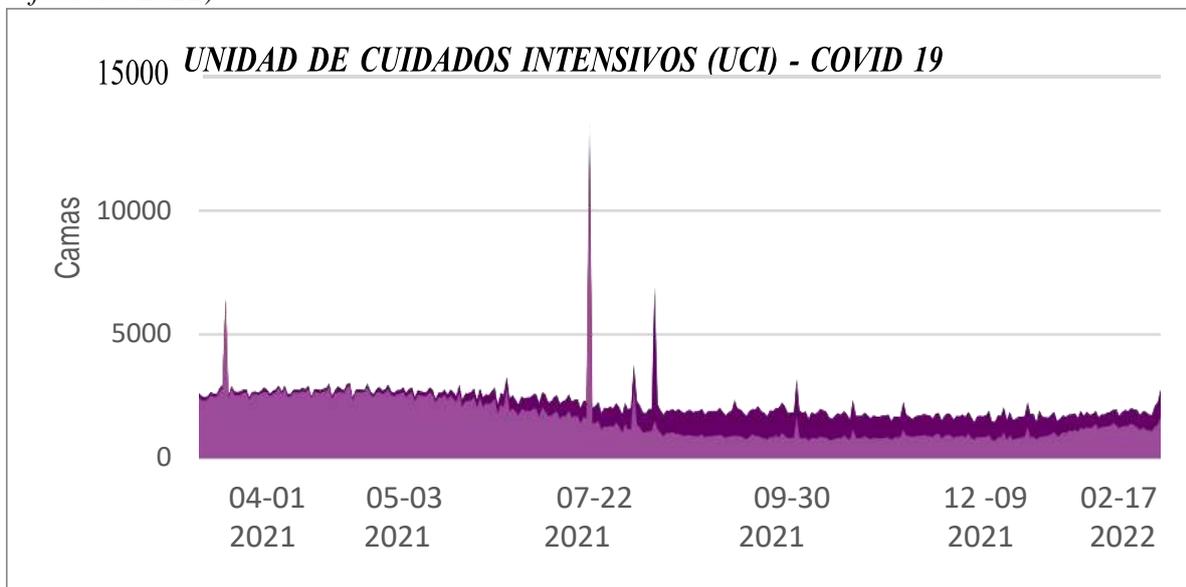
Nota: Camas totales en UCI en todo el país en cuatro momentos de la pandemia: inicio, primera ola, segunda ola y la actualidad. *Tomado de: Superintendencia Nacional de Salud, SUSALUD, (2022).*

A más de 2 años de pandemia, se han reportado a nivel nacional un total de 202 584 defunciones (desde abril 2020 – diciembre del 2021). En cuanto a la cantidad total de camas operativas para pacientes con COVID-19, en las zonas diferenciadas como son la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), según los datos reportados, hasta el 28 de diciembre de 2021, el 49.6% de las camas UCI se encontraban ocupadas [21]. Actualmente, se tiene la siguiente información para el primer trimestre del 2022:

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

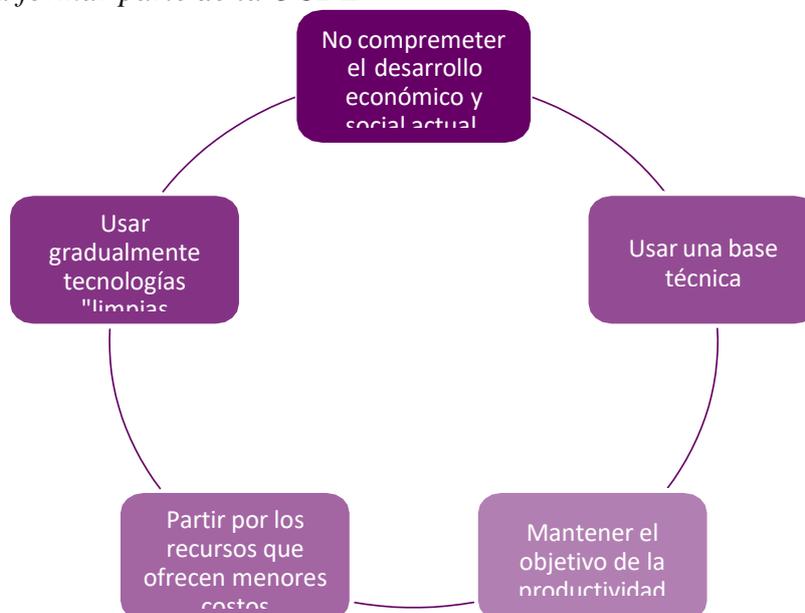
#### Figura 4

*Disponibilidad de camas en Unidad de Cuidados Intensivos – área COVID-19 (enero 2021 – febrero 2022)*



Nota: Cantidad total de camas en condiciones de uso operativas para pacientes con COVID en la zona diferenciada (Zona COVID 19). Tomado de: *Superintendencia Nacional de Salud, SUSALUD, (2022)*.

En la actualidad, varios países europeos y latinoamericanos están presentando mejoras en la evaluación de la eficiencia energética en diferentes sectores de la sociedad. Esto viene logrando gracias a la incorporación de estrategias de diseño energéticos en los principales establecimientos de salud. La utilización de los sistemas activos y sus requerimientos de utilidad, además de las políticas de estado a través de normativas, reglamentos y estándares que garanticen el desarrollo sostenible. En el Perú se inicia una elaboración de diagnósticos energéticos (térmicos o eléctricos) que permite identificar los consumos energéticos, evaluación de costos y la mejora a la rentabilidad de la inversión. Perú se ha planteado el objetivo de pertenecer a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en un horizonte de tiempo de 10 años, para lo cual debe cumplir con la implementación, dentro de las múltiples reformas institucionales, el uso gradual de tecnologías “limpias” que permitan una mayor productividad y a la vez, sean rentables [22]. (Ver Figura 5)

**Figura 5***Requisitos para formar parte de la OCDE*

Nota: Requisitos que Perú debe implementar para pertenecer a OCDE en un plazo de 10 años.  
 Tomado de: Gamio (2016)

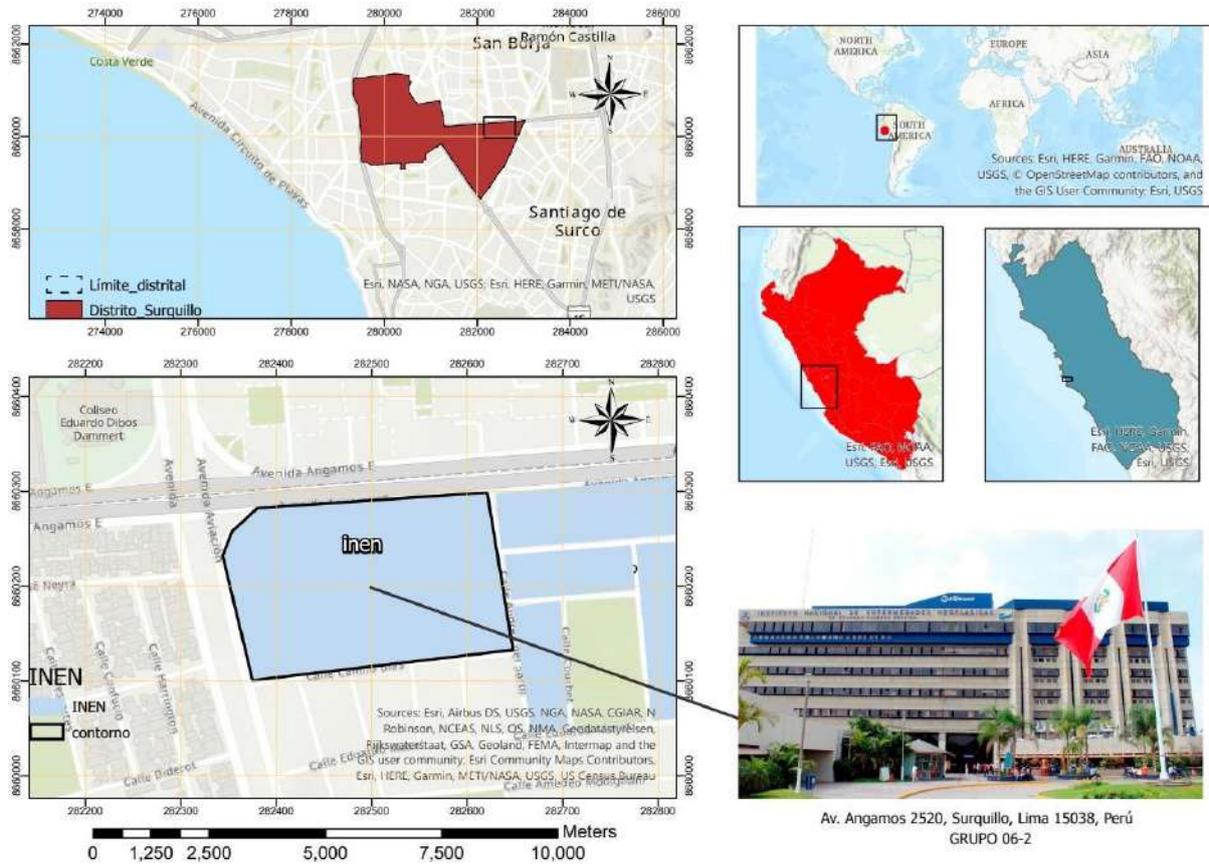
**3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El 13 de mayo de 1939 se funda el Instituto Nacional del Cáncer, posteriormente denominado Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) que, en sus 83 años de vida institucional, se ha consolidado como una institución científica de alta especialización, cuenta con una amplia trayectoria nacional e internacional y realiza un intenso trabajo en el desarrollo de conocimiento técnico especializado en cáncer.

Ubicado en el Distrito de Surquillo, Provincia de Lima, Perú (Ver Figura 6). Está clasificado en nivel de atención otorgado por el MINSA con la categoría III-2, por cumplir con los estándares de calidad, eficiencia y alta especialización que se brinda en el manejo de la prevención y tratamiento de cáncer en el país. Actualmente, el INEN se encuentra planificando las actividades/tareas que deben realizar las unidades orgánicas para la obtención de la renovación de la categoría III-2 que se efectuará en el transcurso del año 2022, para ello se ha trazado objetivos específicos, entre ellos aprovechar oportunidades de mejora que pueda presentar la Unidad Productora de Servicios de Salud y un sistema de eficiencia energética a través del uso del gas natural (UPSS) y la reducción de consumo energético a través de tecnología limpia [23].

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila, Susana I. Dávila Fernández

**Figura 6**  
*Plano de Ubicación del INEN*



Nota: Ubicación de Instituto Nacional de Enfermedades de Neoplasias (INEN) a través de Arcgis Online. *Fuente: Elaboración propia.*

Previo a la pandemia, el INEN al ser un centro especializado de la diagnóstico y tratamientodel cáncer ha requerido de una demanda alta de energía. Las fuentes de alta energía que tradicionalmente han requerido mayor utilización de electricidad han sido aceleradores lineales, cobalto 60 y simuladores.

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

**Tabla 1***Fuentes de Alta Energía*

	Acelerador Lineal	Cobalto 60	Simulador
Requerimientos	El Departamento cuenta con un acelerador lineal de 6 MeV VARIAN, que reemplazó al Clínac 4, dos aceleradores Siemens, uno de 6 Mev con fotones y electrones y un Primus dual de alta energía (6 MeV-18 Mev)	El Departamento de Radioterapia cuenta con unainfraestructura compuesta por tres unidades de cobalto60: Theratron 1, Theratron II y el Dorado, las tres con fuentes de 6000 curies.	El simulador Pickeres un equipo de rayos X que está diseñado para reproducir las condiciones de tratamiento del acelerador lineal o de la bomba de cobalto.

Nota: Áreas de mayor empleo de energía eléctrica en el INEN. *Fuente: Cáceres, (2002)*

Debido a la llegada de la pandemia, el INEN tuvo que replantear sus lineamientos ahora orientados al manejo, tratamiento y seguimiento de los pacientes con COVID-19 bajo el marco de la Resolución Ministerial N° 276-2019-J/INEN. Por lo que tuvieron que actualizarsu plan de contingencia para casos probables o confirmados de COVID-19, crear un flujograma de atención de pacientes y un área de atención de casos probables y confirmadosde neumonía grave por COVID-19. Zona que fue implementada en el 4to piso oeste que cuenta con habitaciones individuales con sistema de presión negativa para extracción de aire contaminado y ventiladores mecánicos [24]. A continuación, se muestra la Tabla 2 que permite ver la implementación progresiva de camas UCI y camas hospitalarias.

**Tabla 2***Cuadro de total de Camas UCI y hospitalarias para los años 2019-2021*

	2019	2020	2021
UCI (3ero Este)	8	8	8
COVID – 19 (Hosp. 4to Este)	-	-	26
COVID-19 (UCI 4to. Oeste)	-	10	10
COVID-19 (CAP- SOSP)	-	6	6
TOTAL	8	20	50

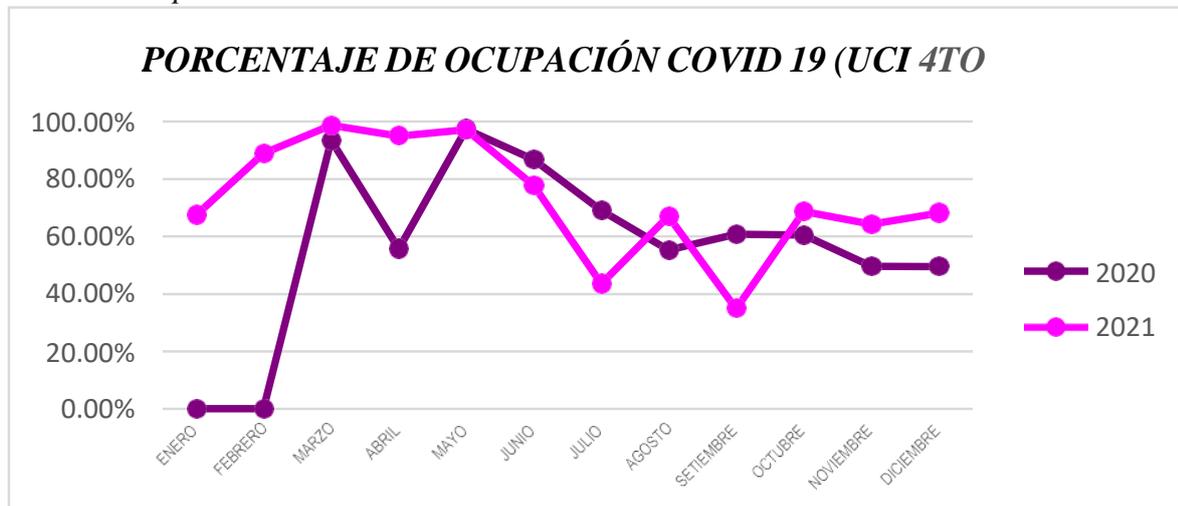
Nota: Número de camas UCI (para COVID y otras enfermedades) y camas hospitalarias para tratamiento de la enfermedad COVID. *Fuente: INEN (2021)*

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

La Tabla 3 permite ver el nivel de ocupación de camas UCI para tratamiento de la enfermedad COVID-19 en los años 2020-2021

### Figura 7

*Nivel de ocupación de camas UCI – COVID 2020-2021*



Nota: Cantidad total de camas en condiciones de uso operativas para pacientes con COVID en la zona diferenciada (Zona COVID 19). Tomado de: INEN (2020-2021)

Simultáneamente al incremento de la capacidad de respuesta del INEN, aumenta la urgencia de ampliar las soluciones de energía en las zonas de mayor requerimiento eléctrico con el fin de poder mitigar el consumo energético, conseguir una reducción de costos significativa y así lograr acelerar los esfuerzos por lograr una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

## 4. REVISIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA Y LAS INTERVENCIONES

### 4.1. Uso de energía en hospitales

Lombarda et al. (2008) reportó que hospitales consumen energía aproximadamente 9% (E.E.U.U), 11% (España) y 6% (Reino Unido) del uso de energía comercial en estos países respectivos. Hospitales en Estados Unidos tienen un uso de energía de 786 kWh por metro cuadrado por año [25].

Dentro de los hospitales, Singh y Pedamulla (2017) informaron que la calefacción, ventilación y aire acondicionado representaron el 44% del uso de energía en hospitales de la India y dentro de un rango del 30-40% del uso de energía fue para la iluminación [26].

## Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

La edad media de construcción de las instalaciones de salud es de aproximadamente 29 años [27], lo que plantea un desafío adicional ingenieril para la modernización de los sistemas hospitalarios y renovación de sus instalaciones para mejorar la eficiencia energética.

### 3.2. Impacto de la Covid – 19 en el uso de energía en hospitales

De acuerdo con los centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), la surgencia de la pandemia Covid-19 ha incrementado el consumo de energía en los hospitales, lo cual simboliza costos adicionales de las estrategias de mitigación para la transmisión de la enfermedad [28]. Para la IEA, Agencia Internacional de la Energía, la actual pandemia por el COVID-19 implica que “más allá del impacto inmediato en la salud, la crisis actual tiene implicaciones para las economías mundiales, el uso de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>” [29]. La crisis causada por el coronavirus nos recuerda la dependencia de la sociedad moderna de la electricidad. Esto lo podemos observar de forma directa en los hospitales, que requieren de equipos de alta demanda energética (ventiladores, refrigeradores y equipos médicos) (Ver Tabla 3). Este artículo, evaluará las implicaciones energéticas en el uso de las camas de unidades intensivas (UCI) en el contexto de la Covid-19.

**Tabla 3**

*Requerimientos mínimos de hospital para tratamiento de COVID-19*

Requerimientos	Posible Exposición		Casos positivos Covid	
	Tiempo de cuarentena	Sala de aislamiento	Atención Terapéutica Básica	UCI
Requerimiento de camas	-	300 camas por 100.000 habitantes	4 camas por cada 100.000 habitantes es imprescindible	2 camas de UCI por cada 100.000 habitantes es básico
Recursos humanos (médicos)	ANM, ASHA, AWW	Enfermeras, Oficiales Médicos	Médico General, Especialista en Medicina, Pediátrico, Microbiólogo, Psiquiatras/Psicólogos, Enfermeras, Técnico de Laboratorio, Especialista en Salud Pública	Atención Terapéutica RRHH + Respiratorio especialista, anesestesiólogos, enfermeras de UCI y técnicos

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

Aplicaciones	Ventiladores de escape, ventiladores de pedestal, luces, cargador móvil			
Equipo médico	1 unidad Termómetro IR**, Covid, kits de recolección de muestras (proporción población afectada, 1 hora = 10/15 pruebas)	1 unidad Termómetro IR**	1 unidad Termómetro IR**, 3 unidades Concentrador de oxígeno/Cilindro, 6 uds Oxímetro de Pulso(+2), 1 ud Rayos X Máquina (para todas las salas)	4 unidades [Ventiladores (con/sindivisores) cilindros/concentrador de oxígeno, bomba de infusión, dispositivos de succión, multi para monitor], 1 unidad de desfibrilador (+1)
Espacial Paciente Camas por módulo	Cubículo de 6 pies por 8 pies - 10 camas	Cubículo de 6 pies por 8 pies - 10 camas	Área de piso de 6 pies por 8 pies - 6 camas	Área de piso de 10 pies por 8 pies: 4 * o 6 camas
Saneamiento	4 aseos y 2 duchas, Calentador de agua solar de 200 LPD. Bomba de agua (según necesidad)	4 aseos y 2 duchas, Calentador de agua solar de 200 LPD Bomba de agua (según necesidad)	2 aseos y 1 ducha Calentador de agua solar de 100 LPD Bomba de agua (según necesidad)	Calentador de agua solar Bomba de agua (según necesidad)
Vestíbulo	Entrada normal	Canales designados de entrada y salida de esclusas de aire		

Nota: Requerimientos frente a casos positivos de Covid según gravedad. *Tomado de: SE4ALL, (2022).*

### 3.3. Camas de Unidad de Cuidados Intensivos

Los centros hospitalarios, debido al aumento de la demanda de pacientes críticos COVID-19, han implementado una serie de tecnología orientada a la atención oportuna de hospitalizados en cuidados intensivos (Ver Tabla 4). Este tipo de mobiliario médico es de suma importancia en el área de cuidados intensivos para que la recuperación del paciente sea integral y se minimice el riesgo de sufrir padecimientos derivados de la falta de movilidad en el paciente [30]. La Tabla 4 señala el requerimiento de personal médico, ratio, tecnología y equipo de soporte para una cama UCI. Mientras que la Tabla 5 recoge un promedio de demanda eléctrica que emplea una Cama UCI [31].

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

**Tabla 4**

*Tipos de camas por complejidad en unidades hospitalarias*

Pacientes condición Crítica	
Profesional Médico	Médico especializado en terapia intensiva Enfermera especializada en terapia intensiva Por cada 12 camas un equipo médico: 1 intensivista disponible
Ratio	1 médico especialista (medicina interna, urólogo, infectólogo) 2 enfermeras 3-4 asistentes de enfermería
Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación mecánica</li> <li>• Red de gases medicinales con oxígeno, aire y vacío</li> <li>• Sistema secundario de suministro de oxígeno</li> <li>• Monitoreo continuo</li> <li>• Carro de parada con desfibrilador y marcapasos</li> <li>• Suministro de medicamentos por bomba de infusión</li> <li>• Rayos X portátil</li> <li>• Terapia respiratoria</li> <li>• Disponibilidad de anestesia</li> </ul>
Equipo de Soporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de cirugía para traqueostomía</li> <li>• Medición de gases arteriales</li> </ul>

Nota: Requerimientos tecnológicos, equipo de soporte y recursos humanos para casos críticos de COVID-19. Tomado de: *Organización Panamericana de la Salud, OPS (2020)*.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

**Tabla 5**

*Electricidad usada en Unidad de Cuidados Intensivos*

	kWh	% Total UCI uso deelectricidad
Demanda eléctrica de UCI ventiladores	176 kWh/día	52%
Uso de electricidad del sistema de enfriamiento de la UCI promediado y modelado sobre el típico año meteorológico	131 kWh/día	39%
Uso de electricidad de todas las luces de la UCI, máquinas de pacientes, equipos de cabecera, computadoras	32 kWh/día	9%
Uso total de electricidad por día (promediado y modelado durante un año típico)	339 kWh/ día (= 34 kWh/paciente/día)	100%

Nota: La UCI de los Estados Unidos (US-ICU) usó electricidad a 3051 kWh de electricidad/día para 9 camas; estas camas tenían un porcentaje de ocupación de 51% durante agosto – setiembre de 2017, pasando de 34 a 39 el número de pacientes que en promedio que ocuparon la UCI. Para Tomado de: Forbes, M., Burnham, J., Lau, R., Aye, L, Kollef, M., Scott, M. (2018)

### 3.4. Implementación de un Sistema híbrido mediante paneles fotovoltaicos en hospitales

Para remediar situaciones como las ya mencionadas, garantizar un suministro constante de energía y, esencialmente, permitir la continuidad de las prestaciones médicas se viene implementado, en algunos continentes como Europa y Asia, paneles solares fotovoltaicos (PV) con sistemas de almacenamiento de energía. Este básicamente convierte la electricidad de corriente continua (CC) generada por energía solar módulos fotovoltaicos en electricidad de corriente alterna (CA), que se utiliza para la transmisión de electricidad, a través de inversores cuyo tamaño está en función de la carga máxima requerida por una edificación [32]. El Sistema Fotovoltaico consta de 4 componentes, en función de estos y cómo se integran que se clasifican en 2 categorías. (Ver Tabla 6) [33].

**Tabla 6**

*Básica Estructura de un Sistema Fotovoltaico*

	Generación Fotovoltaica	Sistema de almacenamiento	Acondicionamiento de potencia de convertidores	Generador de respaldo
	Módulos fotovoltaicos	Batería	Rastreador	Generadores Diesel
Componentes	Sistema de seguimiento de suma	Sistema de rejilla	Sistema de control y Monitoreo	
Categorías	Sistema Fotovoltaico Independiente		Sistema PV conectado a la red	

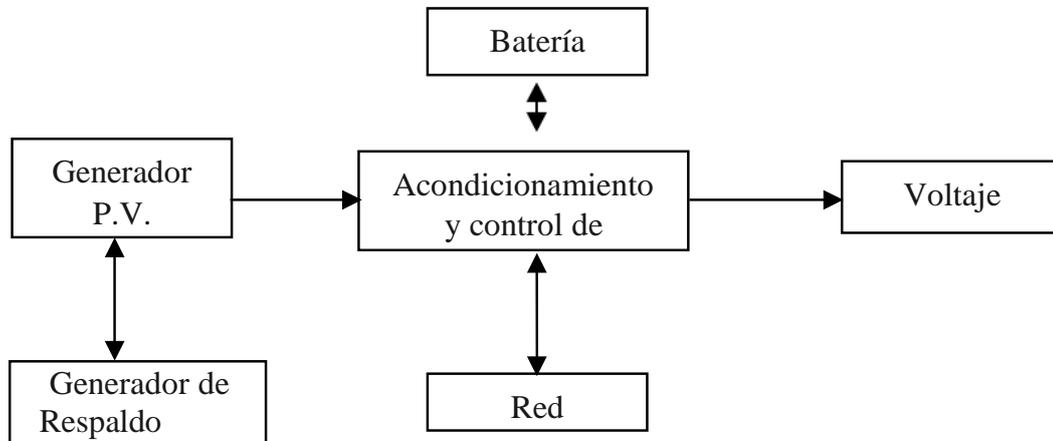
Nota: Categoría y componentes de una Sistema a base de Instalaciones Solares. *Tomado de: Ojha, R.; Sridhar; K. (2012)*

Para esta investigación, se consideró la implementación de un Sistema Fotovoltaico conectado a Red, cuyo funcionamiento se basa en suministrar energía a la red cuando la generación solar excede la demanda de carga (durante el día) y tomar energía de la red durante la noche. Estos sistemas no requieren de almacenamiento de energía, pero requieren componentes adicionales al voltaje, la frecuencia y la forma de la onda regulares para cumplir con el estricto requisito de alimentar la energía a la red.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

### Figura 8

*Básica estructura de un Sistema Fotovoltaico conectado a Red*



Nota: Esquema de diseño de un Red-Sistema Solar. Tomado de: Ojha, R.; Sridhar; K. (2012)

El Perú cuenta con leyes específicas en materia de energías solares y los gobiernos demandan constantemente el desarrollo de sistemas de energías limpias, consideradas de interés nacional. Su marco legal del Ministerio de Energía y Minas, Plan Energético Nacional 2014- 2025, se traza como objetivos prácticamente duplicar la producción de energías renovables [34]. Es por esto que es necesario analizar la viabilidad técnica y económica de los Sistemas Híbridos mediante Paneles Fotovoltaicos para el uso hospitalario en el Perú, y así discutir su conveniencia o no de su empleo.

## 4. METODOLOGÍA

Para llevar adelante los objetivos propuestos por los autores, se plantea el desarrollo de una metodología que consta de tres etapas: (i) Diagnóstico del consumo energético del subsector salud en el área de estudio, INEN, pre pandemia y durante la pandemia; (ii) Desarrollo de estrategia de implementación del Sistema Fotovoltaico para el mejoramiento de la eficiencia energética a partir sistema de paneles interconectado a la red eléctrica; (iii) Análisis del ahorro energético potencial del establecimiento a partir del sistema propuesto apropiadas a las condiciones técnicas de la región. Cada una de las etapas se desarrolla a continuación.

#### **4.1. Diagnóstico del consumo energético del subsector salud en el área de estudio, INEN**

Para el diagnóstico del comportamiento en la zona de estudio, se analizan y sistematizan los consumos energéticos y su relación con la cantidad de Camas UCI implementadas tras pandemia, a través del portal del INEN de “Servicio de Energía Eléctrica – Reporte Anual”. A partir del cual se obtienen los consumos reales anuales del establecimiento, a partir de la lectura de medidores de electricidad y de la información productivo-sanitaria brindada por el MINSA.

Una vez relevado y analizado el comportamiento energético del edificio, y la cantidad de camas UCI ocupadas por cada mes, el siguiente paso consiste en el desarrollo de estrategias de mejoramiento.

#### **4.2. Desarrollo de estrategia de implementación del Sistema Fotovoltaico para el mejoramiento de la eficiencia energética, a partir de una PV conectado a red.**

La metodología del sistema Red-Sistema Solar utiliza un enfoque analítico y consiste en modular los comportamientos edificados energéticos y productivos de la red de salud a partir de un análisis particular y detallado. Como primer paso, se realiza una evaluación de las temperaturas máximas y mínimas registradas en la zona de estudio. Seguidamente, se determina el área libre para colocación de paneles. Con ello, se especifican las características del panel seleccionado y el máximo consumo energético durante el muestreo. Se calcula el número de paneles fotovoltaicos (ec. 1)

$$M = \frac{E_c}{E_{gm} * N_{sis}} \quad (1)$$

Donde:

M= Número de módulos FV, sin unidades.  
 EC= Energía consumida diariamente, W-h.

E<sub>gm</sub>= Energía generada diariamente por cada módulo, W-h.

N<sub>sis</sub>= Eficiencia combinada de los controladores, baterías e inversores.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

Con dicho dato, se calcula el número de filas de módulos en serie (ec. 2) y columnas de módulos en paralelo (ec.3). Obteniéndose un número de módulos conectados por inversor que se multiplica por la tensión para conocer si el arreglo es adecuado.

$$\text{No. filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m} \quad (2)$$

$$\text{No. columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_m} \quad (3)$$

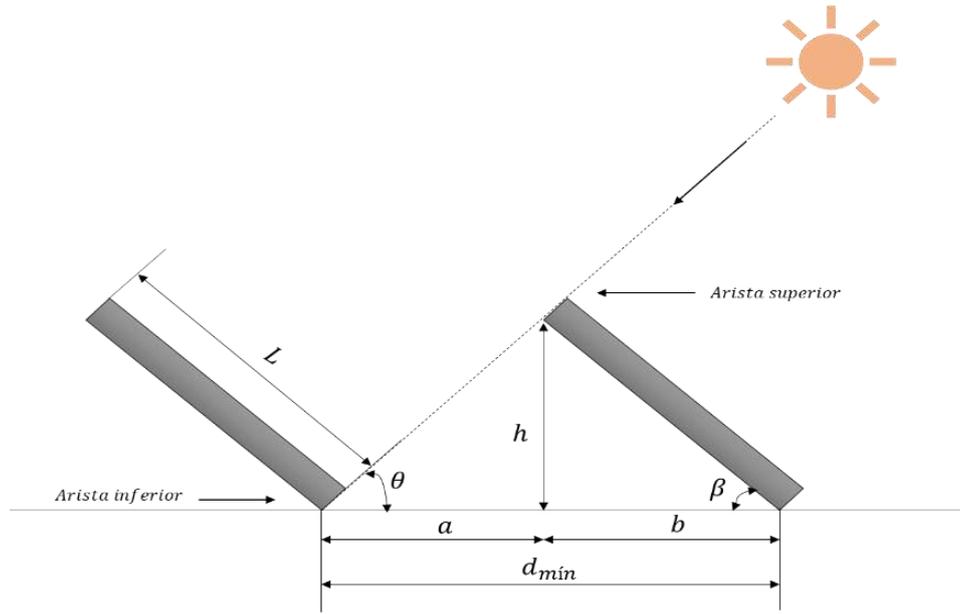
Posteriormente se determina el número de inversores que necesita para que el Sistema PV pueda cubrir la carga (ec. 4). Se comprueba el número de inversores multiplicado por la potencia de salida, el cual debe ser mayor a la potencia total teórica.

$$\text{No. Inversores} = \frac{M_{total}}{\text{No. Módulos por arreglo}} \quad (4)$$

Con dichos datos, se elabora un diseño de los módulos solares fotovoltaicos con sus dimensiones en el programa Revit, de Autodesk. Para conocer la inclinación, sombras y distancias entre paneles se elaboró un análisis solar para determinar las zonas de mayor alcance para la colocación de los paneles con el programa. El ángulo óptimo del panel que garantice su mejor aprovechamiento varía de acuerdo al lugar; por lo que se obtuvo mediante la ecuación 5.

$$\text{Inclinación} = \text{Latitud} + 10^\circ C \quad (5)$$

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente (Ver Figura 9).

**Figura 9***Distancia mínima entre aristas de paneles*

Nota: Componentes para hallar separación mínima en función de ángulos de inclinación y proyección del sol. *Tomado de: Elaboración propia.*

Siendo:

$$h = \text{sen}(\beta) * L \quad (6)$$

$$b = \text{cos}(\beta) * L \quad (7)$$

$$a = \frac{h}{\tan \theta} \quad (8)$$

$$d_{min} = a + b \quad (9)$$

Finalmente, se diseñó un diagrama de distribución de los paneles PV considerando las dimensiones de los paneles y el área del techo del edificio, distribuyendo los paneles con suseparación mínima especificada mediante cálculos.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

#### ***4.1. Análisis del ahorro energético potencial del establecimiento a partir del sistema propuesto apropiadas a las condiciones tecno-económicas de la región.***

En esta etapa se utiliza, para evaluar y comparar el índice de eficiencia energética-económica, el cual sintetiza la relación entre el comportamiento energético y el costo económico de la inversión necesaria para la aplicación de las mejoras tecnológicas-constructivas. Para obtenerla energía que será generada dentro de un mes por los paneles PV, se calcula con la ecuación

10. Con dicho dato, se genera un costo por consumo de la energía eléctrica con paneles fotovoltaicos.

$$Eg = \frac{Pm * No. \text{módulos} * Hp *}{301000} \quad (10)$$

## **5. RESULTADOS**

### ***5.1. Diagnóstico del consumo energético del subsector salud en el área de estudio, INEN***

Para el diagnóstico del comportamiento energético de la red de salud en el INEN, se comenzó por un recorrido de las instalaciones eléctricas del establecimiento (Ver figura 10). El INEN registra un incremento de la tarifa eléctrica, por ende del consumo y/o demanda eléctrica, incrementado tras la surgencia de la pandemia, con un aumento en un 208% aproximadamente (respecto del IV semestre del 2019 y I semestre del 2022)

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

**Figura 10**

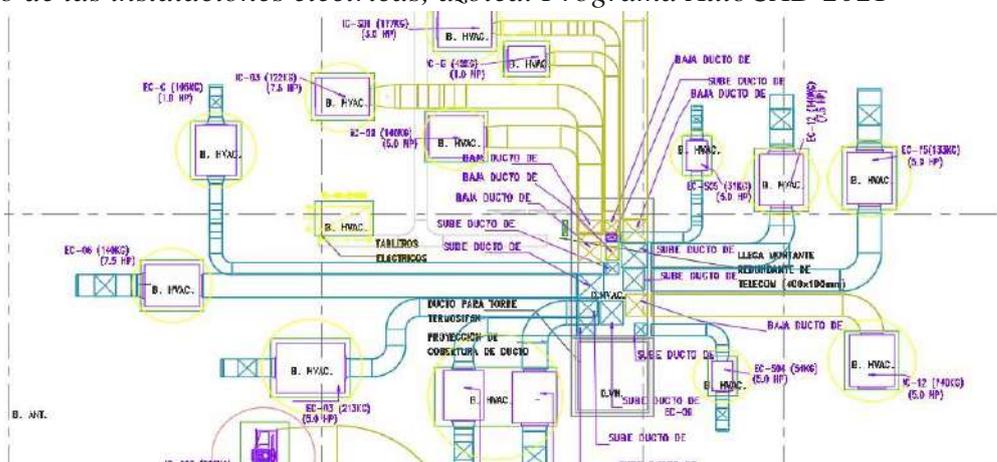
Animación del hospital Neoplásica, programa Naviswork-2021



Nota: Esquematación digital de modelo constructivo del INEN a través del programa Naviswork. Tomado de: Consorcio Ítalo-peruano (2017)

**Figura 11**

Plano de las instalaciones eléctricas, azotea. Programa AutoCAD 2021



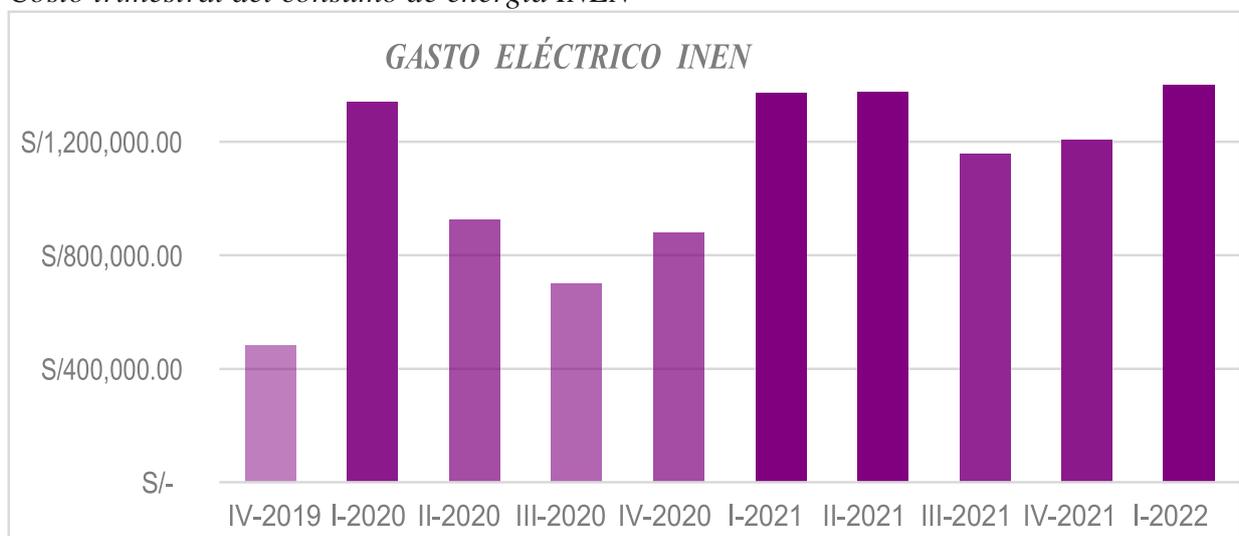
Nota: HVAC, iluminación e instalaciones térmicas en la azotea del INEN. Tomado de: Consorcio Ítalo-peruano, 2017

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

El análisis de costo por consumo de energía trimestral desde IV trimestre 2019 hasta I trimestre 2022, permite analizar el alto consumo de energía en la etapa de pre y post pandemia, verificando el I trimestre de 2020, I trimestre de 2021, II trimestre de 2021 y I trimestre 2022 fueron los periodos más elevados. Los datos coinciden con cuatro momentos de la pandemia: inicio, primera, segunda y tercera ola del covid-2019 (Ver Figura 12). Se podría manifestar intuitivamente que dicho aumento se debe directamente a la ocupación y demanda de camas UCI (Ver Figura 13). Nos da entender que el sistema convencional no permite un ahorro de energía por lo tanto no permite reducir el Co2.

**Figura 12**

*Costo trimestral del consumo de energía INEN*

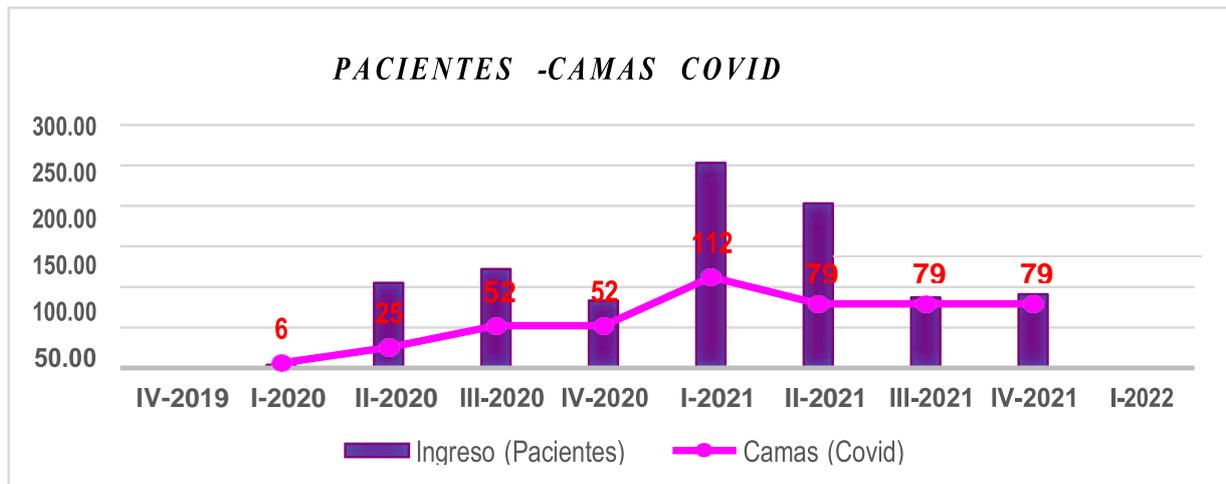


Nota: Gasto eléctrico del Instituto de Neoplásicas para el 4° trimestre del año 2019, 1° - 4° trimestre del año 2020, 1° - 4° trimestre del año 2021 y 1° trimestre del año 2022. Adaptado de: Servicio de Energía Eléctrica – Reporte Anual (INEN). *Fuente: Elaboración propia*

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

**Figura 13**

*Ingreso de Pacientes – Uso de Camas UCI para Covid-19*



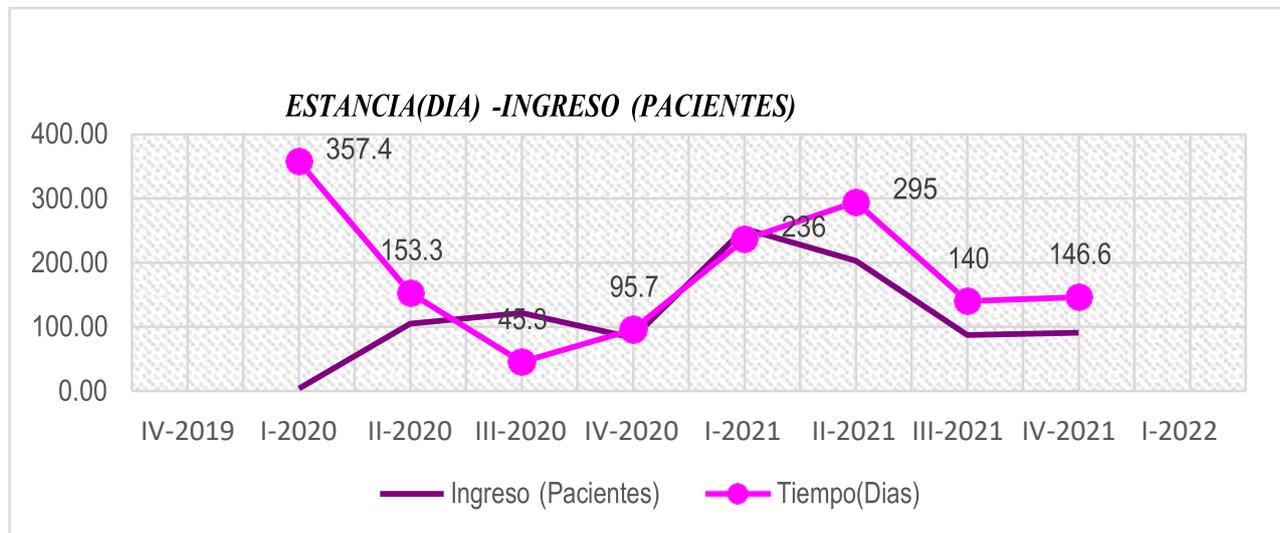
Nota: Relación de ingreso de pacientes en forma general con aquellos internados en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) por Covid-19. Adaptado de: Indicadores de Gestión Hospitalaria (INEN). Fuente: *Elaboración propia*.

En la Figura 13 se refleja en la Figura 12 por la cantidad de personas que entraron con síntomas de COVID y consumo energético, la Figura 14 permite detallar la relación que hay entre ingreso de pacientes por COVID y su estadía en el Hospital, dando entender que en los días donde hubo más consumo de energía no necesariamente se debe por la cantidad de personas sino por tiempo de que estuvieron internados. En trimestre I –2020 hubo pocas personas por el inicio de pandemia, pero el consumo fue mayor por la estadía de 357.4 días que el siguiente trimestre que fue de 153 días, dando un costo de consumo de 1343150.30 soles con respecto al siguiente trimestre con un costo de 927620.47 soles.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

**Figura 14**

*Cantidad de pacientes y su estancia en el INEN por Covid-2019*



Nota: Relación de la estancia y el ingreso de paciente para el consumo de energía. Adaptado de: Indicadores de Gestión Hospitalaria (INEN). Fuente: *Elaboración propia*

## 5.2. Desarrollo de estrategia de implementación del Sistema Fotovoltaico para el mejoramiento de la eficiencia energética, a partir de una PV conectado a red.

### 5.2.1. Análisis del Consumo Energético Teórico y Real del INEN

**Tabla 7**

*Consumo de Electricidad del INEN*

Mes	Horas Puntas	Fuera Punta	Total
Línea Base	254000	1254880	1508880
Enero	257680	1380000	1637680
Febrero	311440	1528800	1840240
Marzo	276640	1380480	1657120

Nota: Energía Activa (Wh). Tomado de: INEN (2022).

## Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

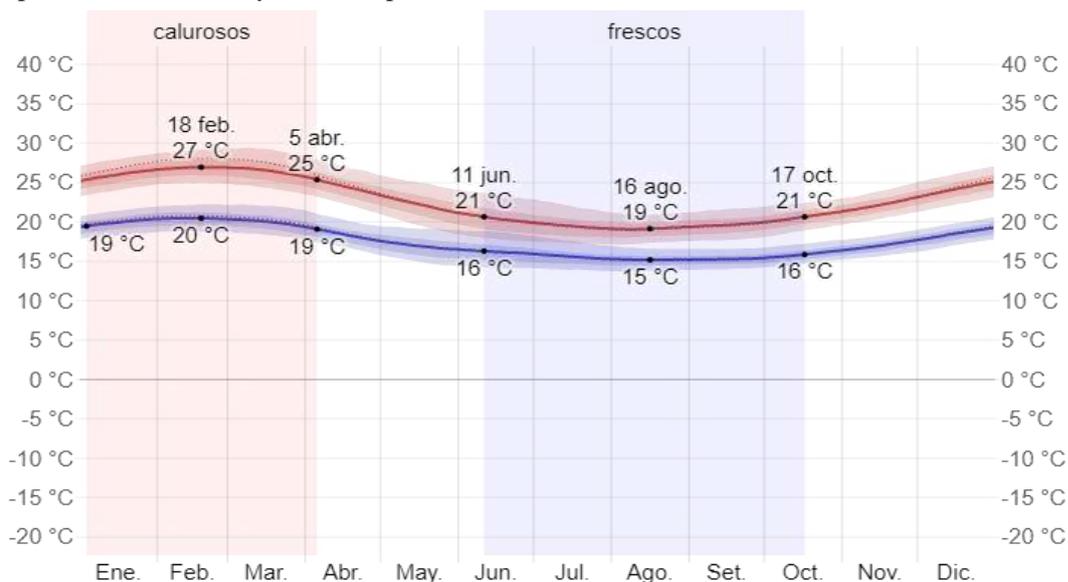
En la Tabla 7 se observa el consumo teórico del INEN para los meses de enero, febrero y marzo. Considerando un consumo de 24 horas al día para aparatos encendidos al mismo tiempo y de forma permanente. El consumo energético por mes realizando un promedio de los 3 meses durante el monitoreo fue de 1711680 kW que multiplicado por la tarifa de Cargopor Energía Activa en Punta (cent S./kW.h) es de 130.52 y para un cargo por Energía Activafuera de Punta (cent S./kW.h) es de 50.19 dando como un aproximado de 1'085,558.53 soles

### 5.2.2. *Análisis del tipo de Celda Fotovoltaica adecuada para el INEN tomando en cuenta los Factores Ambientales y los Costos.*

En la Figura 15, se observa que, durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 15° a 27°C y rara vez baja a menos de 14°C o sube a más de 29°C. La temporada más cálida del año en Lima es febrero, con una temperatura máxima de 27°C y mínima de 20°C. La Figura 16 muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por horade todo el año.

**Figura 15**

*Temperatura máxima y mínima promedio en Lima*

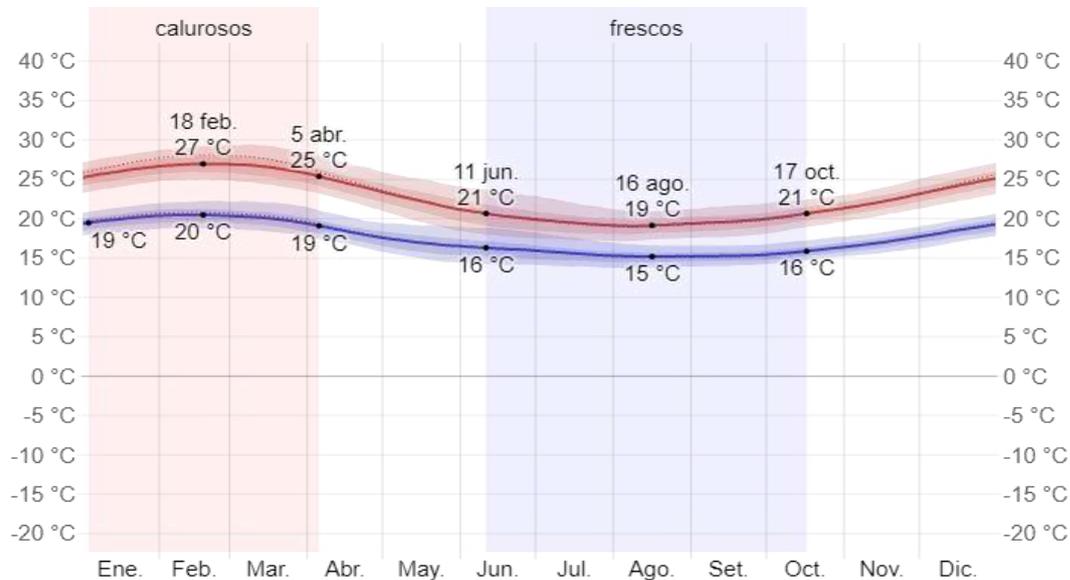


Nota: La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes. Tomado de: *Weather Spark (2022)*

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

**Figura 15**

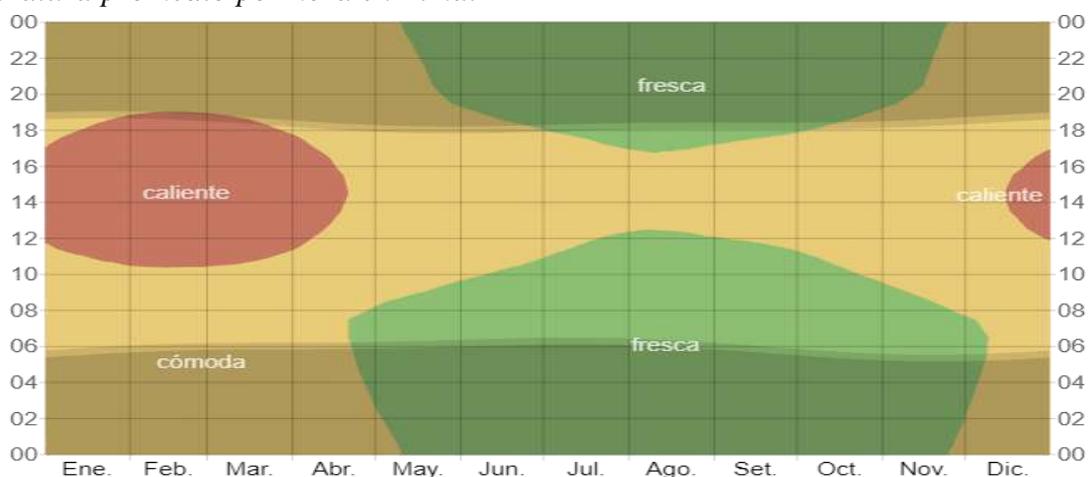
*Temperatura máxima y mínima promedio en Lima*



Nota: La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes. *Tomado de: Weather Spark (2022)*

**Figura 16**

*Temperatura promedio por hora en Lima.*



Nota: La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil. *Tomado de: Weather Spark (2022)*

---

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

---

La temperatura máxima y mínima registrada en el estado están dentro del rango de la mayoría de paneles que se ofertan en el mercado y tomando en consideración que el área disponible es limitada. Seleccionada la energía eléctrica a suministrar, se selecciona un proveedor de módulos FV. Una de las principales razones para la selección de los módulos es la eficiencia y su potencia pico, ya que, a mayor eficiencia y potencia, menor número de módulos por instalación y área a utilizar. En este caso se optaron por módulos de la tecnología de Dual Sun (Ver figura 17), ya que su potencia es una de la más alta en su clase y su material tiene una mayor eficiencia a comparación de otros materiales, además de que permite al módulo operar sin problemas en múltiples configuraciones de montaje.

**Figura 17**

*Panel Monocristalino 320 W de 2163mm x 1030mm x 35 mm.*



Nota: Dimensiones del panel seleccionado. *Tomado de: Dual Sun (2018)*

Considerando que el inversor a utilizar debe proporcionar la potencia que pueda estar conectada al sistema y las características de la instalación (monofásica y trifásica) en donde el caso más crítico es cuando todas las cargas (potencia total) están conectadas al PV, así como los parámetros de entrada del inversor, por lo que se selecciona un inversor Xantrex GT30 para conexión a la red (Ver Figura 18).

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

### Figura 18

*Inversor Xantrex GT30*



Nota: Inversor Schneider Xantrex GT30 E. Tomado de: *La Casa Sostenible* (2018)

#### 5.2.3. *Cálculo del número de Paneles Fotovoltaicos necesarios para abastecer la demanda energética del INEN*

Considerando que el sistema de paneles a instalar es interconectado a la red eléctrica general, el espacio disponible para la instalación es 600 m<sup>2</sup>, el panel seleccionado tiene una dimensión de 1.9403 m<sup>2</sup> (Ver Figura 19), se suministrara 70% del máximo consumo registrado durante el muestreo, que se encuentra según la Tabla 7 para el mes de febrero 2022 que fue de 1840240 kWh por lo que se suministra 1288168 kWh. Utilizando la radiación en la localidad que para Lima Metropolitana es de 4.9 horas, la tensión máxima es de 1500 V y corriente máxima del módulo es de 10.7 A.

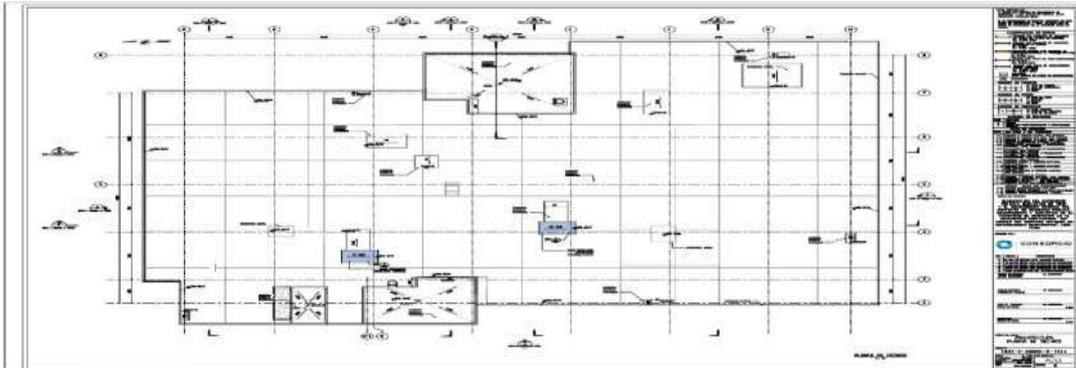
$$M = \frac{1288168 \text{ kW}}{1500 \text{ V} \times 10.70 \text{ A} \times 4.9 \text{ h}} = 16.28 \text{ módulos}$$

De acuerdo con el cálculo se necesitan 17 paneles solares fotovoltaicos para cubrir la demanda a suministrar, se instalarán 18 PV para que los inversores queden nivelados.

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

**Figura 19**

*Azotea INEN*



Nota: Representación gráfica de la Azotea del INEN. Tomado de: Consorcio Ítalo-Peruano (2017).

#### 5.2.4. Cálculo del arreglo de los paneles PV

**Figura 20**

*Cantidad de números de paneles fotovoltaico*

**Cantidad de N° modulos**

$$M = \frac{E_c}{E_{gm} * N_{sis}}$$

<b>Ec</b>	<b>609741</b>
<b>Egm</b>	<b>375</b>
<b>N sis</b>	<b>0.42</b>
<b>M</b>	<b>682.90992</b>
<b>M</b>	<b>683</b>

Nota: La cantidad de números de paneles fotovoltaicos para el abastecimiento del hospital Neoplásica según su consumo y la dimensión de la azotea. Fuente: *Elaboración propia*

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

### Figura 21

*Cálculo de la energía propuesta con paneles Fotovoltaicos por un mes*

Calculos de energía propuesta con los paneles fotovoltaicos

$$Eg = \frac{Pm \times No. \text{ modulos} \times Hp \times 30}{1000}$$

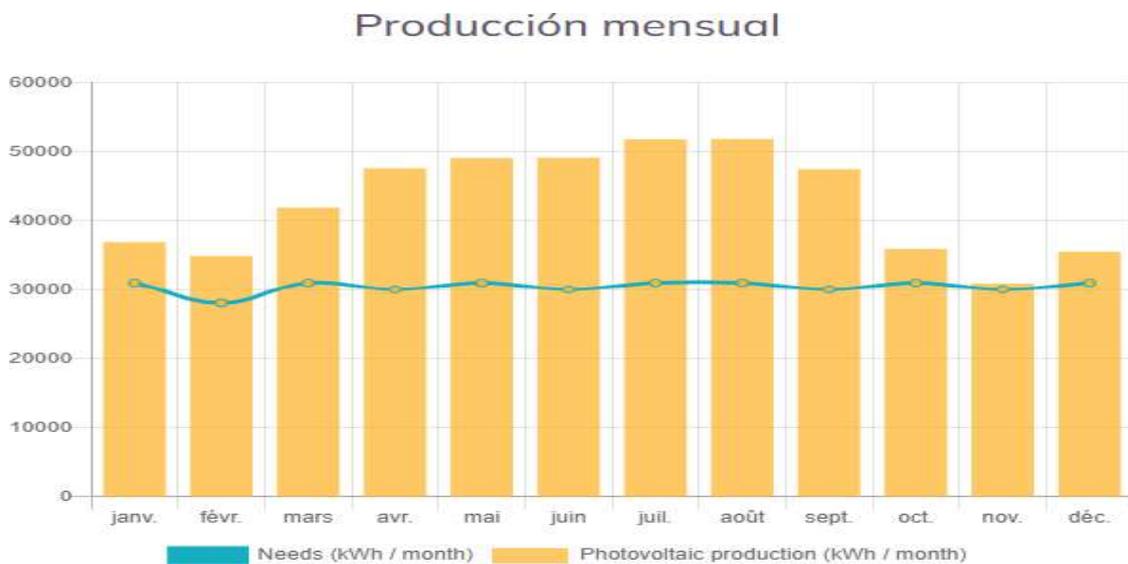
Pm	375
No	683
Hp	4.9
30	
1000	
<b>Eg</b>	<b>= 37650.375 kw</b>

Nota: La cantidad de energía con los paneles fotovoltaicos con una inclinación 19° según la latitud de la ubicación del edificio. *Fuente: Elaboración propia*

### 5.3. Análisis del ahorro energético potencial del establecimiento a partir del sistema propuesto apropiadas a las condiciones tecno-económicas de la región.

### Figura 22

*Producción mensual de los paneles fotovoltaico vs consumo del hospital programa (Dual Sun)*



Nota: La producción de energía del panel fotovoltaico nos ayuda a analizar mejor que tan eficiente son los paneles fotovoltaicos. Dual Sun, 2022

## Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

### Figura 23

Reducción de CO2 por toneladas según Dual Sun

Durante 25 años, su instalación habrá evitado la emisión a la atmósfera de:

**5.753,6 toneladas de CO2**

o un **balance ecológico neto de 5.642,11 toneladas de CO2** ⓘ

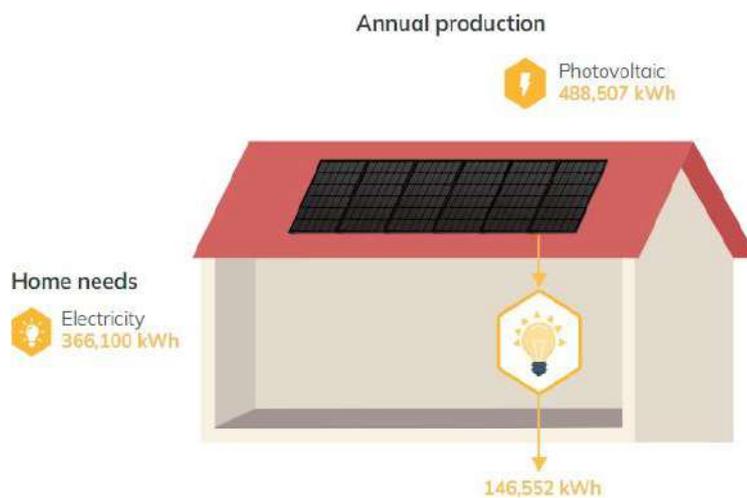
Nota: Reducción de CO2 por el simulador de la empresa Dual Sun, según la implementación de los 683 paneles durante 25 años se reducirá 5753.6 toneladas de CO2

### Figura 24

Modelo de ahorro de energía con paneles Fotovoltaico

**40 % de autonomía energética**

El siguiente gráfico le permite visualizar cómo su producción solar contribuye a su autonomía energética:



Nota: Consumo de energía 366366.14kwh, un porcentaje del 40% del total de consumo anual. Dual Sun, 2022

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

## 6. DISCUSIÓN

La correcta gestión de los Paneles fotovoltaico en puntos estratégicos y el uso correcto técnico en del Hospital Neoplásica permitirán ofrecer un modelo sólido, coherente y útil, para la gestión y operación del proyecto de infraestructura. Contar con este método sostenible, que permite que las personas involucradas (cliente, diseñador. Pacientes) esto constituye un aspecto fundamental para que el proyecto de infraestructura que puedaincorporarse como pieza contributiva en el contexto de una un Hospital eco-saludable. El modelo de información constituye en sí mismo un aporte para el desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible.

El presente trabajo solo se centró para solución en la reducción de consumo energético para casos de pandemia: COVID-19. No se expandió al análisis de calidad de aire, análisis de huella de carbono.

El principal factor técnico que afecta el costo del sistema híbrido es la demanda de energía. Se observa que la implementación de un Sistema Fotovoltaico solo cubriría con un 40% de la demanda eléctrica, aunque el valor no es despreciable, se podría optimizar en búsqueda de mejores modelos con mayores potencias, tensiones y amperaje que permita un flujo de corriente continua. Sin embargo, lo que es óptimo y destacable es el nivel de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, que es un aproximado de 5753.6 toneladas; valor que permitiría al Hospital posicionarse como un modelo de Hospital Verde en Latinoamérica.

## 7. CONCLUSIONES

- Los ahorros en energía se obtuvieron con la identificación e implementación de medidas para el ahorro de electricidad, de las cuales fueron asociadas con fórmulas establecidas para un modelo energético hospitalario en la cual se determina la demanda y el costo de la energía antes y después de cada intervención por año. De igual modo se aplicó el programa SPSS cuyo fin fue determinar la inversión optima en cada intervención por año de manera que reduzca el nivel de contagios.
- Los datos obtenidos de consumo energético-eléctrico del INEN pueden no ser del todo precisos, puesto que las lecturas de suministro eléctrico no reflejan necesariamente la realidad para los meses iniciales de pandemia. Puesto que por medidas de aislamiento social para frenar la propagación del COVID-19, se suspendió la toma de lectura de medidores a través del Decreto de Urgencia

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

---

035- 2020. Tanto las empresas Luz del Sur como Enel fueron autorizadas a emitir recibos por consumos de electricidad utilizando un sistema de promedio, que luego fue reajustado en los posteriores meses como un sobrecargo. Esto es lógico, ya que se puede evidenciar en el primer trimestre del 2020 ningún impacto.

- Mediante un análisis del costo trimestral por uso de instalaciones convencionales del consumo de energía en el Hospital Neoplásicas se determinó que durante el periodo de 2020 – 2021 el costo de consumo fue elevada, ya que afecto el nivel de daños a la salud debido a la pandemia afectando a miles de peruanos. Siendo los 2 primeros trimestres del 2021 y el primer trimestre del 2022 los costos más elevados, por lo cual nos permite conocer que el sistema convencional no permite un ahorro de energía, por ende, no permite reducir el CO<sub>2</sub>.
- El consumo de electricidad en iluminación depende del número de lámparas, número de horas de iluminación y su eficiencia (iluminación/potencia eléctrica). Sabemos que cada hospital no puede parar sus actividades, estos funcionan las 24 horas, siete días x semana, en lo cual es posible obtener ahorros energéticos importantes si tomamos en cuenta el uso adecuado del material para la instalación en cada lugar/ambiente.
- Para un análisis del ahorro energético potencial, los resultados del cálculo de las características tecnológicas constructivas de la envolvente se puede observar el mejoramiento para un comportamiento térmico y los costos de inversión para cada propuesta. Se observa que para cada reciclado 1,2 y 3 presentan un índice de eficiencia energético – económica de valores 0.0008, 0.0005 y 0.0005 respectivamente de la cual se toma en cuenta el ahorro energético y económico.

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Huynh, A.; Barkokebas, R.D.; Al-Hussein, M.; Cruz-Noguez, C.; Chen, Y. (2021) Energy-efficiency requirements for residential building envelopes in cold-climate regions. *Atmosphere*, 12, 405.
- Saavedra, E., Rey, F. J., & Luyo, J. E. (2016). Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas.
- European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. COM/2019/640 Final. Recuperado de: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:-52019DC0640> (accessed on 28 May 2021)
- Salud sin daño (2020). Informe sobre el trabajo de los miembros de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables en América Latina. Red Global de Hospitales Verdes y Saludable.
- Hernández, J., et. al. (2017). Nuevas Estrategias para un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 28(54). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/145/14551170003.pdf>
- Vasquez-Ibarra, L.; et. al. (2020) The joint use of life cycle assessment and data envelopment analysis methodologies for eco-efficiency assessment: A critical review, taxonomy and future research. *Sci. Total Environ.* 2020, 738, 139538. [CrossRef]
- Cheek, E.; Guercio, V.; Shrubsole, C.; Dimitroulopoulou, S. (2021). Portable air purification (2021). Review of impacts on indoor air quality and health. *Sci. Total Environ.* 766, 142585. [CrossRef] [PubMed]
- Beraún Espíritu, M. M. (2021). La eficiencia energética en tiempos de pandemia basado en el consumo energético en hospitales del Perú. Recuperado de: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/REVROOS\\_97fc6a724432cadcde12f6dd976a9c07](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/REVROOS_97fc6a724432cadcde12f6dd976a9c07)
- Morgenstern, P & Raslan, Rokia & Ruyssevelt, Paul. (2016). Reducing hospital electricity use: an end-use perspective.

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

---

- Martinez-Sierra, David, García-Samper, Martha, Hernández-Palma, Hugo, & Niebles-Nuñez, Willian. (2019). Gestión Energética en el Sector Salud en Colombia: Un Caso de Desarrollo Limpio y Sostenible. *Información tecnológica*, 30(5), 47-56. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500047>
- Salazar, Miriam Rosario, Regalado-Rafael, Roxana, Navarro, Jeannie Magalli, Montanez, Dayana Melissa, Abugattas, Julio Elías, & Vidaurre, Tatiana. (2013). El Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas en el control del cáncer en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 30(1), 105-112. Recuperado en 14 de junio de 2022, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S172646342013000100020&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172646342013000100020&lng=es&tlng=es).
- Bejar Chuchon, E. M., & Castro Tito, Y. G. (2021). Los dilemas médicos que se suscitan ante la insuficiencia de camas de UCI por el coronavirus desde una perspectiva biojurídica. *Revista Oficial Del Poder Judicial*, 13(15), 357-380. <https://doi.org/10.35292/ropj.v13i15.400>
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (2019). Indicadores de Gestión Hospitalaria. Departamento de Epidemiología y Estadística del Cáncer. Recuperado de: [https://portal.inen.sld.pe/wp-content/uploads/2020/01/-DICIEMBRE\\_2019.pdf](https://portal.inen.sld.pe/wp-content/uploads/2020/01/-DICIEMBRE_2019.pdf)
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (2021). Indicadores de Gestión Hospitalaria. Departamento de Epidemiología y Estadística del Cáncer. Recuperado de: [https://portal.inen.sld.pe/wpcontent/uploads/2022/04/-DICIEMBRE\\_2021.pdf](https://portal.inen.sld.pe/wpcontent/uploads/2022/04/-DICIEMBRE_2021.pdf)
- Gallagher, M. & Wykes, S. (2015). Participación de la Sociedad Civil en la iniciativa de Energía Sostenible para Todos. Practical Action. CAFOD. Recuperado de: <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G03879.pdf>
- Martinez, D.; Garcia, M.; Hernández, H. & Niebles, W. (2019). Gestión Energética en el Sector Salud en Colombia: Un caso de Desarrollo Limpio y Sostenible. *Información Tecnológica*. Vol. 30(5), 47-56 (2019). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500047>
- Palacions, M.; Santos, E.; Velázquez, M. & León, M. (2020). COVID-19, una emergencia de salud pública mundial. *Revista Clínica Española*. Recuperado de: <https://medicinainterna.net.pe/sites/default/files/Covid19%20Emergencia%20Publica%20Mundial.pdf>

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

- Villanueva-Carrasco Rosa, Domínguez Samamés Rafael, Salazar De La Cruz Miriam, Cuba-Fuentes María Sofía. Respuesta del primer nivel de atención de salud del Perú a lapandemia COVID-19. An. Fac. med. [Internet]. 2020 Sep [citado 2022 Jun 14] ; 81(3): 337-341. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/-scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S102-555832020000300337&lng=es](http://www.scielo.org.pe/-scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102-555832020000300337&lng=es).  
<http://dx.doi.org/10.15381/anales.v81i3.18952>
- L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout (2008), A review on buildings energy consumption information, Energy Build. 40 (3) pp. 394–398.
- Britto, F. et al (2021). Tiempos de pandemia 2020-2021. 1º Edición digital. Recuperado de: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/5485.pdf>
- Ministerio de Salud (2022). Plan Frente a la Pandemia por COVID – 19, para el año 2022, del Ministerio de Salud. Documento Técnico. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2852615/Documento%20T%C3%A9cnico%20Plan%20frente%20a%20la%20pandemia%20por%20COVID-19%20para%20el%20a%C3%B1o%202022.pdf>
- V.K. Singh, L.R.T. Pedamallu, A.C. Ziebell. (2017) Addressing Implementation Methods and Challenges for Energy Efficiency in Health Sectors of India, 3rd International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics Porto.
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (2022). Plan de trabajo para la recategorización del INEN 2021-2022. Comité Operativo de Recategorización del INEN.
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (2020). Resolución Jefatural. <https://portal.inen.sld.pe/wp-content/uploads/2020/06/RJ-147-2020.pdf>
- Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy Build. 40(3):394–398. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778807001016>
- S. Kumar, R. Kapoor (2009) Energy Efficiency in Hospitals: Best Practice Guide, USAID, ECO-III, BEE, India.
- Energy Information Administration, Commercial buildings energy consumption survey (CBECS) (2015). <https://www.eia.gov/consumption/commercial/-data/2012/bc/pdf/b1-b2.pdf>

Eficiencia energética en el Instituto de Neoplásicas – Surquillo - Lima tras La pandemia del covid-19

---

- L.Schulster, R.Y. Chinn (2003) Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC)., MMWR. Recommendations and reports: Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports. 52 1-42
- International Energy Agency (IEA), 2020. COVID-19: Exploring the impacts of the Covid-19 pandemic on global energy markets, energy resilience and climate change. Disponible en: <https://www.iea.org/topics/covid-19>
- Cevallos, P. (2020). Automatización de una cama de cuidados intensivos del Hospital Carlos Andrade Marín. Universidad Tecnológica Equinoccial. Recuperado de: [https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5742/1/43770\\_1.pdf](https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5742/1/43770_1.pdf)
- Forbes, M., Burnham, J., Lau, R., Aye, L, Kollef, M., Scott, M. (2018). The carbon footprint of treating patients with septic shock in the intensive care unit. 20(4): 304-312. [32]Ioannou, Kyriacos. (2020). Supplying Electricity to an off-grid hospital using solar PV. 10.13140/RG.2.2.27191.96164.
- Ojha, Rajesh. (2012). Design of a Stand alone photovoltaic system for a rural Hospital. 10.13140/2.1.1016.1288.
- Ministerio de Energías y Minas (2014). Plan Energético Nacional 2014-2025. Dirección General de Eficiencia Energética. N. Van Doremalen, T. Bushmaker, D.H. Morris, M.G. Holbrook, A. Gamble, B.N. Williamson, A. Tamin, J.L. Harcourt, N.J. Thornburg, S.I. Gerber, Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1, N. Engl. J. Med. 382 (2020) 1564-1567.
- B. Casini, B. Tuvo, M.L. Cristina, A.M. Spagnolo, M. Totaro, A. Baggiani, G.P. Privitera, Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas, International journal of environmental research and public health. 16 (2019) 3572.
- S.L. Burrer, M.A. de Perio, M.M. Hughes, D.T. Kuhar, S.E. Luckhaupt, C.J. McDaniel, R.M. Porter, B. Silk, M.J. Stuckey, M. Walters, Characteristics of health care personnel with COVID-19- United States, February 12- April 9, MMWR. 69 (2020) (2020) 477– 481.
- Lozano, Ysabel, & Palacios, Enver V. (2021). Factores asociados a la hospitalización de pacientes con COVID-19 en la Unidad de Cuidados Intensivos de una clínica en 2020. Horizonte Médico (Lima), 21(1), e1379. <https://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2021.v21n1.09>

Daniella V. Gálvez Ramírez, Juan L. Huamán Valdez, Junior B. Salirrosas Del Águila,  
Susana I. Dávila Fernández

---

M.M. Squire, T. Igusa, S. Siddiqui, G.K. Sessel, E.N. Squire Jr, Cost-Effectiveness of Multifaceted Built Environment Interventions for Reducing Transmission of Pathogenic Bacteria in Healthcare Facilities, Health Env Research & Design Journal 12 (2019) 147–161.

Organización Mundial de la Salud. (1996). "Solar Energy and Rural Health Care: WHO Fact Sheet N132. Ginebra, Suiza. Disponible en <http://www.who.int/inf-fs/en/f.ctl32.htinl>

R. Arce Ramos; F. Jurad Pérez. (2020). “Análisis de fallas en sistemas híbridos conectados a la red eléctrica”. Revista Ingeniantes. 2(1). Disponible en <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes7no2vol1/10%20An%C3%A1lisis%20de%20fallas%20en%20sistemas%20h%C3%ADbridos%20conectados%20a%20la%20red%20el%C3%A9ctrica.pdf>

A. Suarez, J. Rojas. (2021). Criterios de diseño – Hospital en Pandemia. Fundamentos generales (1-5). Recuperado de: [https://hospitecnia.com/sites/default/files/inlinefiles/Arquitectura%20hospitalaria\\_Pandemias.pdf](https://hospitecnia.com/sites/default/files/inlinefiles/Arquitectura%20hospitalaria_Pandemias.pdf)



# Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

## Geotechnical solution for the foundation soil of the 7 towers of the villa panamericana

**Marco Antonio Hernández Aguilar, Ronald Saúl Vega López**

Facultad de Ingeniería Universidad Ricardo Palma.

RECIBIDO: 31 de enero del 2023

ACEPTADO: 03 de junio del 2023

### RESUMEN

El presente informe geotécnico ofrece un análisis exhaustivo de la solución geotécnica implementada para las bases de cimentación de las 7 torres en el complejo de la Villa Panamericana. Estas torres, que constan de tres de 19 pisos y cuatro de 20 pisos, fueron construidas como parte del proyecto de los Juegos Panamericanos 2019, en el distrito de Villa el Salvador en Lima, Perú. Cabe destacar, que este proyecto presenta desafíos estructurales de magnitudes sin precedentes en este tipo de depósitos transportados en el país, debido a las características de los suelos de origen eólico. Para realizar el análisis, se llevó a cabo una colaboración investigativa entre varias empresas especializadas en geotecnia. Se utilizaron diversas técnicas de exploración de campo para obtener información precisa sobre las características y el comportamiento del suelo de apoyo. Los resultados indican la presencia de suelos granulares del tipo arenas finas limpias pobremente gradadas poco húmedas con poca cantidad de finos, cuya consistencia, de estos suelos granulares del tipo SP, varían desde sueltos superficialmente, hasta medianamente densa y densa a mayor profundidad, sin la presencia de niveles freáticos. Se evaluaron diferentes alternativas para solucionar los problemas en el suelo de cimentación, y finalmente, se decidió reemplazar el suelo inapropiado con un relleno de concreto hidráulico hasta una profundidad de 3 metros, donde se apoya la platea de cimentación rígida de espesor 1m. Esta solución innovadora, fue aplicada debido a la magnitud de la estructura a construir, las restricciones de tiempo y las características del suelo.

**Palabras clave:** Villa panamericana, juegos panamericanos Lima 2019, solución geotécnica, depósitos eólicos, concreto fluido.

### Como citar

M. A. Hernández Aguilar y R. S. Vega López, «Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana», *Perfiles Ingeniería*, vol. 19, n.º 19, pp. 91-108. jun. 2023.

### ABSTRACT

This geotechnical report offers an exhaustive analysis of the geotechnical solution implemented for the foundation bases of the 7 towers in the Villa Panamericana complex. These towers, consisting of three 19-story towers and four 20-story towers, were built as part of the 2019 Pan American Games project, in the Villa el Salvador district of Lima, Peru. It should be noted that this project presents structural challenges of unprecedented magnitude in this type of deposits transported in the country, due to the characteristics of the soils of wind origin. To carry out the analysis, an investigative collaboration was carried out between several companies specialized in geotechnics. Various field exploration techniques were used to obtain precise information on the characteristics and behavior of the supporting soil. The results indicate the presence of granular soils of the clean, poorly graded, slightly humid sand type with little amount of fines, whose consistency, of these granular soils of the SP type, varies from loose on the surface, to moderately dense and dense at greater depth, without the presence of groundwater levels. Different alternatives were evaluated to solve the problems in the foundation soil, and finally, it was decided to replace the inappropriate soil with a hydraulic concrete fill to a depth of 3 meters, where the 1m-thick rigid foundation plate rests. This innovative solution was applied due to the magnitude of the structure to be built, time restrictions and soil characteristics.

**Keywords:** Pan American Villa, Lima 2019 Pan American Games, geotechnical solution, wind farms, fluid concrete.

Este artículo está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## 1. INTRODUCCIÓN

El propósito principal de este estudio es realizar un análisis geotécnico detallado de la cimentación propuesta de las torres de la Villa Panamericana, un proyecto de construcción único de 7 torres de hasta 20 pisos en este distrito que forma parte del legado de los Juegos Panamericanos 2019. La Villa Panamericana en Lima es un complejo departamental que sirvió como residencia oficial de los atletas que participaron en los juegos panamericanos y parapanamericanos, llevados a cabo entre el 26 de julio y el 11 de agosto de 2019. El complejo cuenta con instalaciones habitacionales deportivas y servicios para aproximadamente 9,500 usuarios y tuvo un costo de alrededor de 180 millones de dólares. Está ubicado en el distrito de Villa El Salvador y fue inaugurado el 16 de marzo de 2019.

El área aproximada de la Villa Panamericana es de 20,000 metros cuadrados y consta de 1,096 departamentos distribuidos en siete torres, cuatro de las cuales tienen 20 pisos y tres tienen 19. Se enfrentó un desafío en el diseño de las bases de soporte de los siete bloques de departamentos debido a altura y las condiciones del terreno. Las cargas solicitadas superaban las 25,000 toneladas, lo que requería un análisis detallado.



*Figura 1. Vista Panorámica de la ubicación de las 7 torres de la Villa Panamericana*

Varias empresas especializadas en geotecnia colaboraron en investigaciones de campo y laboratorio para abordar el desafío de la cimentación de las torres. Utilizaron diversas técnicas de exploración para analizar el comportamiento geotécnico y caracterizar el suelo de apoyo. El enfoque se centra en desarrollar soluciones de cimentación adecuadas y cumplir con los estándares de seguridad y calidad. El objetivo principal es garantizar el funcionamiento a largo plazo de las torres, mitigando los riesgos geotécnicos y asegurando la integridad estructural.

## 2. ZONA DE ESTUDIO

La ubicación geográfica seleccionada para la construcción de las edificaciones de la Villa Panamericana se encuentra en lo que anteriormente era conocido como el Parque N° 26, específicamente en el Complejo Biotecnológico Lote Pz-26, ubicado en el Distrito de Villa El Salvador, dentro del Departamento de Lima. La zona de estudio cuenta con acceso a importantes avenidas principales. En el lado frontal, se encuentra la Av. Pastor Sevilla, mientras que en el lado izquierdo se encuentra la Av. 1 de mayo, y en el lado derecho se encuentra la Av. El Sol.

El área total de estudio abarca aproximadamente 449,277.82 m<sup>2</sup>, con un perímetro lineal de 3,215.37 metros. Esta área comprende todo el espacio destinado para la implementación de las infraestructuras de la Villa Panamericana.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología del estudio de mecánica de suelos sigue una serie de pasos que incluyen la recopilación de datos, investigación de campo, muestreo y ensayos de laboratorio, análisis e interpretación de resultados, diseño con recomendaciones y elaboración de un informe final que permita dar una solución geotécnica segura y estable para soportar las cargas aplicadas de las estructuras a construir.

El objetivo principal es evaluar la resistencia y estabilidad del suelo, brindando directrices para el diseño y la construcción del proyecto. Es importante tener en cuenta que la metodología puede adaptarse según las particularidades del proyecto y las regulaciones geotécnicas aplicables.

### 4. ESTUDIOS GEOTECNICOS REALIZADOS

Se realizaron estudios geotécnicos detallados antes de la construcción de las torres de la Villa Panamericana. Estos estudios fueron clave para determinar, entender y comprender el comportamiento y sus características del suelo y evaluar su capacidad de soporte.

Se utilizaron diversas técnicas de exploración para obtener información precisa sobre los suelos de la zona. La participación de múltiples empresas especializadas en geotecnia fue fundamental para obtener muestras representativas y resultados del campo. Cada empresa desempeñó un papel importante, aportando su experiencia para comprender mejor el suelo de apoyo de las cimentaciones de las 7 torres. Se resumen los trabajos de campo realizados por cada empresa, brindando información sobre las propiedades geotécnicas de los suelos.

El ingeniero Elizaldo Adelino Avila Brañes realizó diversos ensayos en marzo de 2016, que incluyeron 27 calicatas superficiales, 15 ensayos de penetración ligera, 7 calicatas profundas, 5 ensayos SPT, 1 línea sísmica y 1 refracción sísmica. [1]

En noviembre de 2016, Ferloza SAC realizó 5 perforaciones por lavado tipo wash boring, con ensayos SPT [2].

Geomaster SAC llevó a cabo su trabajo en enero de 2017, realizando 2 calicatas profundas, 3 líneas sísmicas del tipo MASW y 4 líneas de refracción sísmica. [3]

En marzo de 2017, el ingeniero Zenón Aguilar Bardales realizó una exploración geotécnica que incluyó 4 ensayos de penetración estándar SPT, 2 calicatas profundas, 1 calicata superficial, 5 perforaciones manuales con iwan auger, 5 pruebas geofísicas tipo MASW, 2 pruebas geofísicas tipo MAM y 2 líneas de refracción sísmica. [4]

Finalmente, en septiembre de 2017, MYM Consultores SRL realizó 14 perforaciones SPT por lavado tipo wash boring, 7 auscultaciones con cono Peck y 3 sondajes eléctricos SEV. [5]

Estos ensayos y trabajos realizados por diferentes especialistas y empresas proporcionaron datos y resultados suficientes para el estudio geotécnico completo y detallado de la zona en cuestión.

## 5. MARCO TEÓRICO

El estudio geotécnico del suelo de cimentación para las 7 torres de la Villa Panamericana y obras complementarias requirió el uso de diversas técnicas de exploración para obtener información sobre las características geotécnicas de los suelos en la zona. Se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos de los ensayos de campo, en colaboración con varias empresas especializadas en geotecnia. Además, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio convencionales y especiales para determinar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los suelos.

El procedimiento seguido en las distintas etapas del estudio ya sea ensayos de campo o de laboratorio, se basa en las directrices establecidas por la normativa peruana de Suelos y Cimentaciones (E.050) [6], la cual establece los requisitos y procedimientos para el diseño y construcción de cimentaciones y estructuras de soporte en el suelo. Esta normativa proporciona criterios de evaluación y diseño para la selección de los tipos y características de las cimentaciones y estructuras de soporte, teniendo en cuenta las particularidades del suelo y las cargas a las que estarán sometidas.

Se utilizaron técnicas establecidas, como las ecuaciones de Terzaghi y Peck, que permitieron determinar la capacidad de resistencia última y admisible del terreno [7], para el soporte de la cimentación y las ecuaciones de asentamientos diferenciales. Estos parámetros proporcionan una base para evaluar la capacidad del suelo en términos de soportar las cargas esperadas y predecir los posibles asentamientos diferenciales.

## 6. EXPLORACIÓN DE CAMPO

Proyectos de construcción de gran envergadura, como la Villa Panamericana, requieren estudios geotécnicos completos para evaluar las características del suelo y determinar las soluciones de cimentación adecuadas. Se ejecutaron distintos ensayos de campo, en participación conjunta con las distintas empresas, como la realización de calicatas a cielo abierto, ensayos de penetración estándar SPT, auscultación con cono tipo Peck, ensayos de penetración ligera DPL y además de ensayos no invasivos del tipo geofísicos, para obtener la información necesaria para definir la capacidad de carga, asegurar la estabilidad del terreno asegurando los cálculos de asentamientos y definir las profundidades de cimentación.

### ***CALICATAS***

Se llevaron a cabo un total de 32 calicatas, entre las empresas geotécnicas participantes, con una profundidad máxima de 8.0 m. y una profundidad mínima de 3.0 m. Estas calicatas tuvieron como objetivo reconocer y describir los diferentes estratos del suelo, (perfil estratigráfico) identificando aquellos que presentaban condiciones más críticas o que ofrecían mejores características para las cimentaciones de apoyo. Además, se recuperaron muestras representativas del tipo disturbadas y muestras inalteradas, como procedimiento de esta práctica.

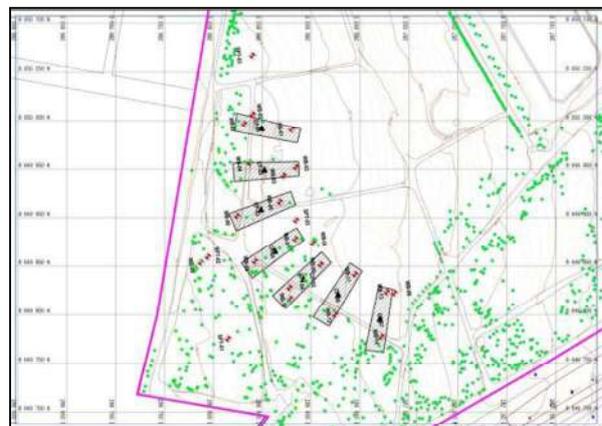


*Figura 2. Plano de la ubicación de las calicatas realizadas. (fuente: propia)*

Las muestras de suelo confirman la presencia de partículas de grano fino del tipo arenas finas pobremente gradadas limpias, húmedas, con poca cantidad de finos y sin presencia de gravas. En los estratos superficiales, estas arenas se encuentran en un estado suelto que se extienden hasta una profundidad que varía entre 0.6m y 0.9m. A continuación, se encuentra un estrato de arena de compacidad medianamente densa a densa, que se extiende hasta profundidades entre 3.0m y 5.8m. Subyaciendo las arenas presentan un estado de compacidad muy denso que se mantiene hasta el límite de las profundidades estudiadas, que alcanzan los 8.00 metros en las excavaciones de calicatas profundas.

### ***ENSAYOS DPL***

Se realizaron 15 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), como parte del estudio realizado por el ingeniero Elizaldo Adelino Ávila Brañes, donde alcanzó una profundidad máxima de estudio de 2.50m, de los cuales, se puede concluir que hasta una profundidad de 1 m. de ensayo DPL se obtuvo como promedio 12 golpes/10cm, lo que nos indica que es un suelo con una compacidad que va desde suelto a medianamente denso, y hasta una profundidad de 2 metros, se obtuvo como promedio 27 golpes/10cm, lo que nos indica que es un estrato medianamente denso [1]



*Figura 3. Plano de la Ubicación de los sondajes de perforación SPT y Cono tipo Peck (fuente:propia)*

## ENSAYOS SPT

Se realizaron un total de 28 ensayos de SPT en colaboración con distintas empresas geotécnicas, aplicando la normativa de procedimiento NTP 339.133 [6], en la figura 03 se puede observar la ubicación de los sondajes. Del total de ensayos, 19 se llevaron a cabo utilizando la técnica de lavado (wash boring). Se alcanzó una profundidad máxima de exploración de 15.45 metros, lo que permitió analizar la resistencia y compacidad relativa de los suelos arenosos en la zona de estudio. Además, se recuperaron muestras del suelo para su análisis en laboratorio, lo que posibilitó realizar pruebas adicionales.

A medida que se profundiza hasta los primeros 5 m., se puede observar una marcada diferencia en los valores del  $N_{SPT}$  entre dos zonas distintas. Los valores registrados varían entre 19 y 48 golpes/pie. En promedio, se obtuvo un valor de 34 golpes/pie, lo que corresponde a un ángulo de fricción de  $37^\circ$ . Esto indica que el suelo de cimentación en la zona de estudio se encuentra en un rango de densidad desde medianamente denso hasta denso.

A profundidades por debajo de los 5 m, se observa un aumento en los registros de golpes del ensayo, llegando incluso a valores de rechazo, valores de  $N$  superiores a 50. Estos resultados indican que el terreno presenta condiciones de densidad alta, desde densas hasta muy densas.

## ENSAYO CONO TIPO PECK

Se realizaron 7 ensayos de penetración tipo Peck a cargo de la empresa MYM Consultores SRL. de estos ensayos, se observa que, hasta una profundidad de 3 m, los registros de golpes varían entre 10 y 80, lo cual indica una compacidad del suelo en un rango de suelto a medianamente denso. A medida que se profundiza, se registran un número creciente de golpes que superan el límite máximo establecido, lo que indica una mayor densificación del suelo en un estado denso a muy denso partir de los 3 metros [5].

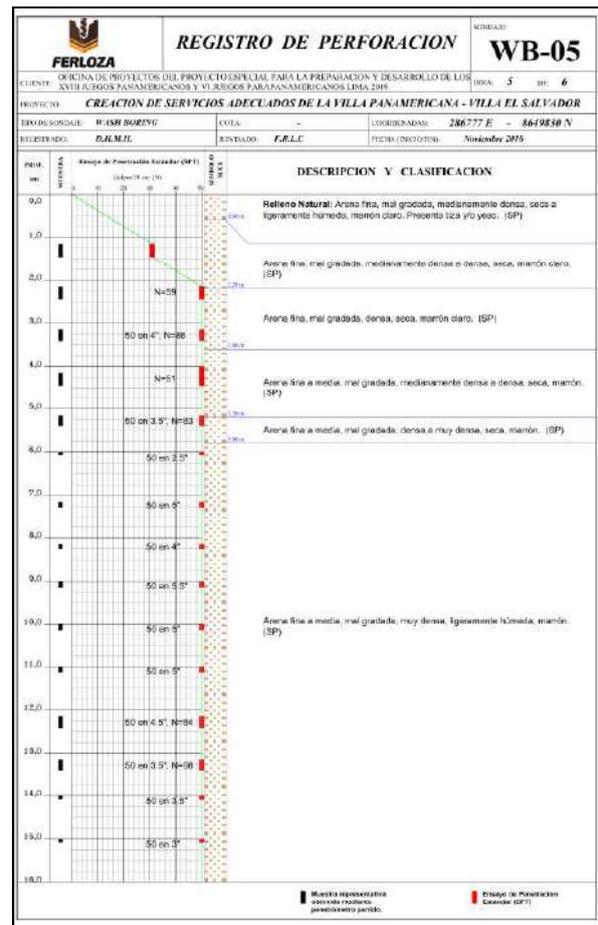


Figura 4 Grafica del ensayo del cono tipo Peck (fuente: FERLOZA)

## Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

### ENSAYOS DE REFRACCION SISMICA Y MASW

En colaboración con las empresas especializadas en geotecnia, se llevaron a cabo un total de 7 líneas de refracción sísmica y 8 pruebas de ondas sísmicas de superficie (MASW).

Según los ensayos de refracción sísmica realizados en el área de estudio, se ha determinado que la estructura de subsuelo, hasta una profundidad de 30 metros son predominantemente de naturaleza granular, correspondientes a depósitos de arenas eólicas.

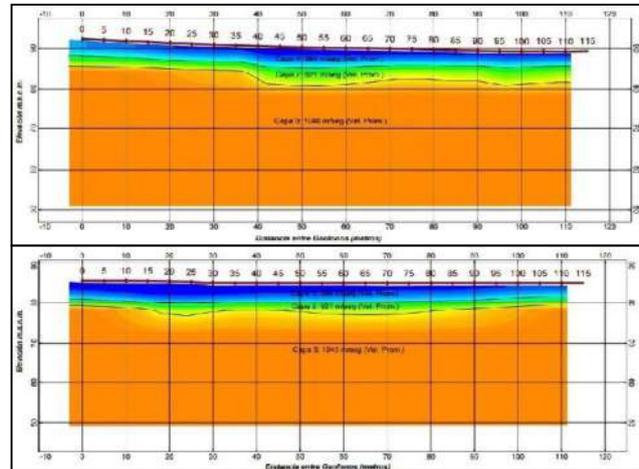


Figura 5 Resultados de la línea sísmica LS-01 Y LS03 (fuente: Geomaster SAC.)

Del resultado se observa que, en el subsuelo, a profundidades que varían entre 2.2 metros y 5 metros, se encuentran capas de arenas con baja densidad, que presentan una compacidad moderadamente densa y velocidades de ondas P de 384 m/s y ondas S de 350 m/s. Sin embargo, a partir de los 5 metros de profundidad, se han identificado estratos de arenas más densificados, donde la compacidad aumenta a medida que se profundiza en el subsuelo, con velocidades de ondas P de 921 m/s y ondas S de 500 m/s. Además, en la capa más profunda reconocida a profundidades superiores a 6 metros, se han encontrado estratos con una mayor densidad, con velocidades de ondas P de 1040 m/s y ondas S de 700 m/s.

### 1. ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación, se presenta un resumen de cada ensayo específico, destacando los hallazgos más relevantes.

#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO

Según los análisis de granulometría realizados por las diferentes empresas, se determinó que el suelo en la zona del emplazamiento de la villa panamericana consiste en su totalidad en arena de origen eólico. Estos análisis revelaron que el suelo está compuesto principalmente por partículas de arena, con un porcentaje superior al 95%. Se observó una baja presencia de partículas finas en promedio 2.3% y no se encontraron

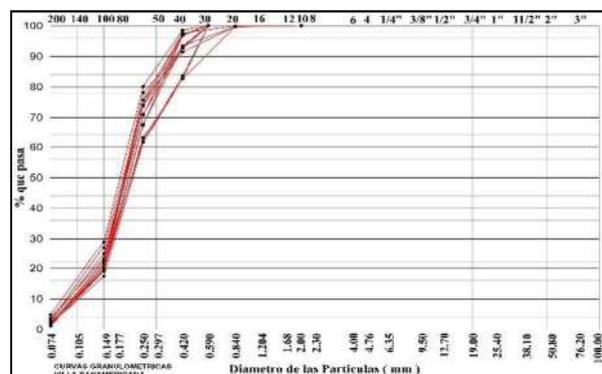


Figura 6 Grafica Granulometrica representativa de las arenas eolicas de la zona. (fuente: Pronia)

partículas de grava en el suelo, clasificados como un SP.

### ***LIMITES DE CONSISTENCIA***

Las características granulares de las muestras de suelo analizadas revelaron la presencia de arenas finas limpias con una baja cantidad de limos o arcillas sin presencia de límites de consistencia. ya que este tipo de suelos eólicos no presenta esta propiedad.

### ***HUMEDAD NATURAL***

Las humedades de los suelos granulares analizados, hasta una profundidad de 7.00 metros, promedian ligeramente más del 2.00%. Debido a la permeabilidad de las arenas y su baja cantidad de finos, la humedad no se retiene de manera significativa en el suelo, sino que tiende a ser transportada o evaporada. Esto indica que el suelo no presenta problemas de saturación o exceso de humedad en la zona analizada.

### ***AGRESIÓN QUÍMICA DE SALES Y CLORUROS***

El suelo de apoyo para la cimentación presenta concentraciones extremadamente bajas de sales solubles, cloruros y sulfatos. Esta característica es fundamental para garantizar la seguridad y prevenir posibles daños o corrosión en el concreto y la armadura de la cimentación. La baja presencia de estas sustancias químicas indeseables proporciona una base sólida y confiable para la construcción, asegurando la durabilidad y la integridad estructural de las edificaciones.

### ***CORTE DIRECTO***

En el caso del suelo friccionante, que está compuesto por arenas en el suelo de apoyo, se determinó, en el informe del ingeniero Elizaldo Adelino Ávila Brañes, para la calicata C-24 M-02 a una profundidad hasta 3.00 metros, utilizando un valor de densidad del suelo de  $1.58\text{gr/cm}^3$ , se obtiene un ángulo de fricción de  $25.3^\circ$  y una cohesión de  $0.01\text{ kg/cm}^2$  mediante el ensayo de corte directo. Estos resultados complementan la caracterización del suelo

Además, se cuentan con los resultados proporcionados por la empresa Geomaster, quienes llevaron a cabo el mismo ensayo. En el caso específico de la muestra C-01 - M-05 a una profundidad de 4.80 metros, usando una densidad del suelo de  $1.67\text{ gr/cm}^3$  se obtuvo un ángulo de fricción de  $34.65^\circ$  y una cohesión de  $0.01\text{ kg/cm}^2$ .

## **2. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Se llevará a cabo un análisis detallado de los suelos de apoyo, los cuales se componen de arenas normalmente consolidadas del tipo SP, con una compacidad que varía entre medianamente densa y densa. El propósito de este análisis es determinar el fondo de la cimentación, la capacidad portante máxima del suelo, la resistencia admisible y predecir los

---

Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

---

asentamientos esperados, además de evaluar algún problema geotécnico que pueda presentarse.

### ***PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SUELO DE CIMENTACIÓN***

A continuación, se presentarán los parámetros de diseño utilizados por cada estudio geotécnico, para determinar la capacidad portante del suelo y predecir los asentamientos diferenciales.

- ***Ing. ELIZALDO ADELINO AVILA BRAÑES***

El objetivo del estudio que realizó el ingeniero Ávila es determinar la resistencia del terreno para edificaciones convencionales, específicamente para pórticos de concreto armado de hasta 5 pisos. Se estima que el terreno deberá soportar cargas de aproximadamente 20 ton/m<sup>2</sup>. Se proponen zapatas aisladas cuadradas de concreto armado con dimensiones de 2.0x2.0 metros y 2.5x2.5 metros, así como cimientos corridos con un ancho de 0.60 metros. A una profundidad de cimentación de 0.80 para cimientos corridos y 1.80m para zapatas aisladas. [1]

- ***GEOMASTER SAC.***

El enfoque del trabajo se centró en la solución para la cimentación de las estructuras de hasta 3 pisos y en las 7 torres altas de 20 y 19 pisos. Donde se planteó la solución del suelo de apoyo para las cimentaciones a construir. Se propone utilizar una platea o losa de cimentación para las torres de 20 pisos en el complejo habitacional Villa Panamericana, mientras que las demás estructuras utilizarán cimentaciones superficiales. Estas cimentaciones se apoyarán sobre depósitos de arenas eólicas finas mal gradadas en la zona. La elección de este tipo de cimentación se basa en consideraciones geotécnicas específicas y en la necesidad de garantizar una base sólida y estable para las estructuras. [3]

- ***MYM CONSULTORES SRL.***

El presente estudio de mecánica de suelos presenta la solución de cimentación para la construcción de los 7 edificios de departamentos, los cuales constan de 20 y 19 pisos, con estructura de concreto armado. Se propone utilizar plateas rígidas con dimensiones de 19.40 metros de ancho y 58.65 metros de largo como cimentación para dichos edificios, los parámetros de diseño se muestra a continuación. [5]

Tabla 1. Resumen de parámetros geotécnicos utilizados por empresa.

Empresa	Cimentación	Fondo de Cimentación	Peso Especifico	Angulo de Fricción	Cohesión	Módulo de Elasticidad
		D <sub>F</sub> (m)	γ(ton/m <sup>3</sup> )	φ°	C(kg/cm <sup>2</sup> )	E(kg/cm <sup>2</sup> )
Ing. Elizaldo Adelino Ávila Brañes	Zapata Aislada	1.80	1.60	25.00	0.01	1100
	Cimiento Corrido	0.80	1.60	25.00	0.01	1100
GEOMASTER SAC.	Cimentación Superficial	0.90 – 1.50	1.65	34.60	0.08	100 - 200
	Platea de Cimentación	0.50	1.65	34.60	0.08	100 - 200
MyM CONSULTORES SRL.	Platea de Cimentación	3.0	1.70	35.00	0.00	-

### ***CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE - ASENTAMIENTOS***

Se han realizado los cálculos utilizando los datos obtenidos tanto en los ensayos de campo como en los ensayos especiales de laboratorio, con el fin de determinar la capacidad de carga última, capacidad admisible del suelo y los asentamientos diferenciales. Estos cálculos se realizaron siguiendo la experiencia y criterios establecidos por cada profesional a cargo.

- ***Ing. ELIZALDO ADELINO AVILA BRAÑES***

Según los valores obtenidos en su estudio de campo y laboratorio, se obtienen los siguientes valores de capacidad de carga admisible del terreno en base a los estudios de Terzaghi modificados por Vesic usando la siguiente formula.

$$Q_u = (S_c * C * N_c) + (0.5 * S_g * g * B * N_g) + (S_q * q * N_q)$$

$$Q_{adm} = (Q_u / FS)$$

En el cálculo de los asentamientos, este estudio consideró las características del terreno estudiadas, teniendo en cuenta que las deformaciones son elásticas y no esperando una consolidación secundaria. Se utilizaron las ecuaciones de Lambe & Whitman, y se adoptó un límite de asentamiento inicial de 1 pulgada (25 mm) [1], Usando la siguiente formula:

$$S = \frac{q_s * B * (1 - \mu^2) * I_f}{E_s}$$

- ***GEOMASTER SAC.***

Tras analizar los criterios, se evaluó el comportamiento de la cimentación en relación con la capacidad de carga y el asentamiento diferencial. Basándose en el perfil estratigráfico obtenido

---

Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

---

de las calicatas, los resultados de los ensayos de campo y laboratorio se llegaron a las siguientes conclusiones.

La capacidad de carga de una cimentación superficial, de acuerdo con las ecuaciones generales basadas en la teoría de Terzaghi y Peck, se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$q_{ult} = (0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) + (\gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q \cdot S_q) + (C \cdot N_c \cdot S_c)$$

$$q_{adm} = (q_{ult} / FS)$$

Se ha observado que los suelos de apoyo en los primeros metros tienen un estado semi denso, lo que implica una disminución en los parámetros de resistencia. Esta condición se considera una falla localizada y es relevante considerarla al calcular y analizar la capacidad de carga y la estabilidad de la cimentación en esa área específica del terreno.

$$C' = (2/3 \cdot C)$$

$$\phi' = \text{arc.tang}(2/3 \cdot \text{tang}(\phi))$$

Después de realizar el análisis correspondiente, se ha determinado que los asentamientos en el suelo de apoyo son principalmente de naturaleza inmediata y se producen durante la etapa de construcción. No se prevén asentamientos significativos a largo plazo debido a procesos de consolidación del suelo. En el cálculo del asentamiento se utilizó la siguiente fórmula

$$S = \frac{\Delta q_s \cdot B \cdot (1 - \mu^2) \cdot I_f}{E_s}$$

S= Asentamiento instantáneo

$\mu$ =Relación de poisson= 0.30

$E_s$ = Modulo de elasticidad = 50\*(N+15) ton/m<sup>2</sup>

$\Delta q_s$ = Esfuerzo neto transmitido

B= Ancho de la cimentación

$I_f$ = Factor de influencia depende de L/B

El uso del módulo elástico es importante para calcular el asentamiento diferencial. En un estrato de arenas mal graduadas semi densas a 0.90m de profundidad, se utiliza un valor de  $E=245 \text{ kg/cm}^2$ . Para los asentamientos de la losa de cimentación, se consideran los estratos más profundos, donde la arena está medianamente densa con  $E=245 \text{ kg/cm}^2$ , y el estrato de arena más denso con  $E=325 \text{ kg/cm}^2$  [3].

- **MYM CONSULTORES SRL.**

Para determinar la presión admisible de diseño, se realizaron análisis de las presiones admisibles de los materiales presentes en las profundidades activas de cimentación, incluyendo el relleno de reemplazo y las capas de arena densa a muy densa. Estos análisis permitieron establecer la carga máxima que el suelo puede soportar sin experimentar deformaciones excesivas o fallas. En el caso específico del depósito de arenas de consistencia densa a muy densa, se empleó la ecuación propuesta por Terzaghi, Peck y Mesri para calcular la presión admisible. En este estudio, se utilizó la siguiente ecuación para determinar dicha presión admisible.

$$Q_a = 0.096 \frac{(N_{60})^{1.4} \cdot f_{\delta} \cdot f_{NF} \cdot f_F}{B^{0.75}}$$

$Q_a$  = Presión admisible.

$N_{60} = N \cdot f_l \cdot f_d \cdot f_E$ .

$N$  = Numero de golpes obtenido en el ensayo SPT dentro del espesor  $B^{0.75}$

$B$  = Ancho de la cimentación.

$f_l$  = Factor de corrección por longitud de barras de ensayo SPT.

$f_d$  = Factor de corrección por diámetro de barras de ensayo SPT.

$f_E$  = Factor de corrección por energía.

$f_{\delta}$  = Factor de corrección por asentamiento  $f_{\delta} = 1$ , para  $\delta = 2.5$  cm.

$f_{NF}$  = Factor de corrección por nivel freático.

$f_F$  = Factor de corrección por forma.

Se consideraron los siguientes datos para el análisis: se obtuvieron  $N=50$  golpes (cantidad de golpes para considerar ensayo de rechazo) en la prueba SPT para el estrato denso de apoyo. Además, se estableció un asentamiento máximo tolerable de 5 cm, lo que da lugar a un factor de corrección por asentamiento de  $f_{\delta}=2$ . Estos datos son relevantes para evaluar la capacidad de carga y la estabilidad de la cimentación en el estudio [5].

Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

Tabla 2. Resumen de resultado de capacidad de carga y asentamientos por empresa.

Empresa	Estructura	Profundidad Cimentación	Ancho de Cimentación	Capacidad Última	Capacidad Admisible	Asentamiento
		D <sub>f</sub> (m)	B(m)	Q <sub>u</sub>	Q <sub>adm</sub>	S(cm)
Ing. Elizaldo Adelino Ávila Brañes	Cimiento Corrido	0.80	0.80	2.10	0.70	0.04
	Zapata Cuadrada	1.80	2.0	5.40	1.80	0.29
	Zapata Cuadrada	1.80	2.50	5.70	1.90	0.38
GEOMASTER SAC.	Cimiento Corrido	0.90	0.70	3.19	1.05	1.51
		1.50	0.70	4.22	1.41	1.51
	Zapata Cuadrada	0.90	1.20	4.11	1.40	1.97
		1.50	1.20	5.99	2.00	1.97
	Platea de Cimentación con sótanos	0.50	14x60	11.92	3.97	7.04
		0.50	15x15	10.81	3.60	7.04
MyM Consultores SRL.	Concreto Pobre Ciclópeo	3.00	-	-	3.00	5.0
	Mortero Fluido	3.00	-	-	3.00	5.0
	Relleno Granular	3.00	-	-	2.00	5.0
	Relleno Estructural	3.00	-	-	3.00	5.0
	Suelo Natural	3.00	-	-	3.00	5.0

### 3. ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN GEOTÉCNICA PARA EL SUELO DE CIMENTACIÓN

En función de los estudios realizados, se proporciona a continuación las especificaciones y detalles geotécnicos de las opciones de estabilización propuestas para la cimentación de las estructuras a construir que incluyen edificaciones de 3 a 5 pisos y las 7 torres de 19 y 20 pisos. Donde Geo Master SAC para las 7 torres propone 2 sótanos y losa de cimentación y MYM propone suelo o material de reemplazo sin sótanos.

#### **SOLUCIÓN 01: RELLENO CONTROLADOS**

Los rellenos controlados se presentaron como una opción de solución geotécnica para los suelos de cimentación en la Villa Panamericana. A continuación, se detallan los aspectos de ingeniería que deben considerarse en su configuración, según los estudios de mecánica de suelos realizados:

- ***GEO MASTER SAC.***

Se propone la siguiente solución de estabilización, que se basa en el uso de rellenos controlados y la implementación de plateas de cimentación como base para las estructuras de las torres de 20 y 19 pisos a construir. Estos dos aspectos fundamentales se enfocan en asegurar la estabilidad de las cimentaciones planificadas. Las especificaciones técnicas se muestran a continuación:

1. Para edificaciones de 3 a 5 pisos, en el escenario en el que la cimentación esté proyectada sobre arenas sueltas y contaminadas, se requerirá realizar una sobre excavación del suelo suelto y contaminado hasta alcanzar la capa de arena limpia y semi compacta, para alcanzar la cota de cimentación de 0.90m a 1.50m se utilizarán rellenos controlados con material de cantera selecto, como afirmado, el cual se colocará en capas compactadas hasta alcanzar una densidad que asegure al menos un 95% de su máxima densidad seca según el método del Proctor modificado. Cada capa compactada tendrá un espesor máximo de 0.25m y se someterá a pruebas de control de densidad para su verificación. También se propone uso de sub-cimiento de baja resistencia  $f'c=100 \text{ Kg/cm}^2$  desde la zona de excavación hasta el nivel de la cimentación
2. Para las 7 torres de 19 y 20 pisos, se propone dos sótanos, de 3m de altura cada uno, una vez excavado y haber alcanzado la arena densa a muy densa, sobre excavar 0.50m y colocar la platea de cimentación. [3].

- ***MYM CONSULTORES SRL.***

El estudio en referencia, plantea la recomendación de utilizar una cimentación tipo platea con un espesor mínimo de 1.00 metro. Se establece que las cargas de apoyo para la transmisión de esfuerzos deben apoyarse sobre material granular, específicamente arenas densas a muy densas. Se sugiere que la profundidad mínima de cimentación se realice en un corte de al menos 3.00 metros por debajo del punto más bajo del terreno en cada ubicación de los edificios, en cada caso se recomienda que el corte alcance al menos los estratos de arena más densos.

A continuación, se detallan las características técnicas de las opciones de estabilización del fondo de cimentación para soportar la platea que formará parte de la estructura de las torres de 20 y 19 pisos:

1. Conformación de una base de apoyo de solado de concreto ciclópeo con capacidad de  $f'c=100 \text{ kg/m}^2$
2. Se propone la colocación de 3 capas superpuestas de 1 metro de espesor cada una, de mortero fluido o relleno de concreto hidráulico fluido. Este tipo de relleno proporciona estabilidad y resistencia, contribuyendo a soportar las cargas y prevenir asentamientos diferenciales. Con un diseño que garantice una resistencia uniforme de al menos  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

---

Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

---

**3. Propuesta 1 de relleno controlado:** consistirá en capas de grava arenosa, bien o mal graduada, con características específicas como porcentaje de partículas finas, límite líquido, tamaño máximo de partículas, contenido de sales solubles no deberá exceder de 1,000 p.p.m. El tamaño máximo del material de relleno no deberá exceder de 1/3 del espesor de la capa de relleno a compactar. El material se colocará en capas horizontales de espesor máximo de 0.25 m y se compactará al menos al 95% de la MDS según el ensayo Proctor modificado, con una capacidad de carga de 1.00 a 2.00 kg/cm<sup>2</sup>. La capa superior del terreno arenoso, donde se aplicará el relleno, también se compactará al 95% de su MDS. Además, se requerirá un sobrecancho mínimo de 1.00 m en todo el perímetro de la platea.

**4. Propuesta 2 de relleno estructural reforzado:** consistirá en capas de grava arenosa, bien graduada limpia a ligeramente limosa o ligeramente arcillosa, con características específicas como porcentaje de partículas finas no mayor al 8%, límite líquido no mayor a 25, índice de plasticidad no mayor de 4, tamaño máximo de partículas de no más de 3 pulgadas, CBR mayor de 80 al 95%, contenido de sulfatos solubles inferior a 1,000 p.p.m. y contenido de sales solubles totales inferior a 5,000 p.p.m. Este material se colocará en capas horizontales de espesor máximo de 0.25 m y se compactará al menos al 95% de la MDS según el ensayo Proctor modificado. Además, entre cada capa de relleno de 0.25 m se instalará una malla biaxial con una resistencia mínima de 400 kn/ml. Con una capacidad admisible de 3.0 kg/cm<sup>2</sup> La capa superior del terreno arenoso, donde se aplicará el relleno, se compactará al 95% de su MDS. Asimismo, se requerirá un sobrecancho mínimo de 1.00 m en todo el perímetro de la platea [5].

### **SOLUCIÓN 02: RELLENO FLUIDO**

El relleno de concreto hidráulico fluido, se propuso como una solución geotécnica, por parte de la empresa MyM Consultores SRL., para conformar una base de apoyo firme y estable para la platea de cimentación. Esta alternativa se seleccionó como la opción definitiva para la construcción de la base de cimentación para los 7 edificios.

La decisión de utilizar el relleno de concreto hidráulico se basó en la necesidad de agilizar el proceso de estabilización de la base de apoyo debido a las restricciones de tiempo. A pesar de que esta opción implicaba un costo mayor en comparación con otras alternativas consideradas, se decidió elegir esta opción para evitar retrasos en la ruta crítica de estabilización del suelo. El proyecto inició en enero de 2018 y se requería que la obra estuviera lista para febrero de 2019.



*Figura 7. Vista de la conformación de las capas de relleno hidráulico fluido.  
(fuente: Geomaster SAC.)*

En comparación con métodos convencionales, la construcción del relleno de concreto hidráulico resultó ser más rápida y eficiente. Esta elección permitió acelerar el proceso de estabilización y cumplir con los plazos establecidos para la finalización del proyecto.

La ejecución consistió en la remoción superficial de las arenas de relleno contaminadas y en estado sueltas hasta una profundidad de 3 metros, donde se alcanza un estrato en estado denso del suelo arenoso.

El procedimiento involucró el vertido de una lechada de cemento autocompactante con características específicas en tres capas superpuestas, cada una con un espesor de 1 metro, dentro de un área de 19.40 metros de ancho y 58.65 metros de largo. Esta lechada se extendió y conformó una capa sólida con una capacidad de carga de 10 kg/cm<sup>2</sup>, capaz de soportar las cargas de servicio estimadas en 25000 toneladas del peso de las estructuras. Sobre estas capas de concreto fluido se estableció la platea de cimentación con las mismas dimensiones [5].

## CONCLUSIONES

- El área estudiada muestra un suelo homogéneo compuesto principalmente por arenas pobremente gradadas y con escasa presencia de finos o gravas del tipo SP. En la superficie, hasta una profundidad de 0.60m a 0.90m, el suelo se encuentra suelto y contaminado. A partir de los 3.0 metros de profundidad, hay un cambio en la compacidad del estrato arenoso, pasando de medianamente denso a denso, aunque conservando las características arenosas. Entre los 5 m y los 8 m de profundidad, se encuentran estratos más densos, desde denso hasta muy denso, siendo este último el estrato de mayor estabilidad. No se encontró napa freática hasta una profundidad máxima de 15.45 metros

- Según los ensayos de penetración estándar (SPT) y percusión dinámica ligera (DPL), se observa que hasta una profundidad de 5 metros se encontró un estrato con una compacidad que varía de medianamente denso a denso. A profundidades mayores a 8 metros, se encontraron estratos altamente densificados y de consistencia muy densa. En el caso del ensayo DPL, hasta una profundidad de 2.50 m. se encontró un estrato de compacidad medianamente densa.

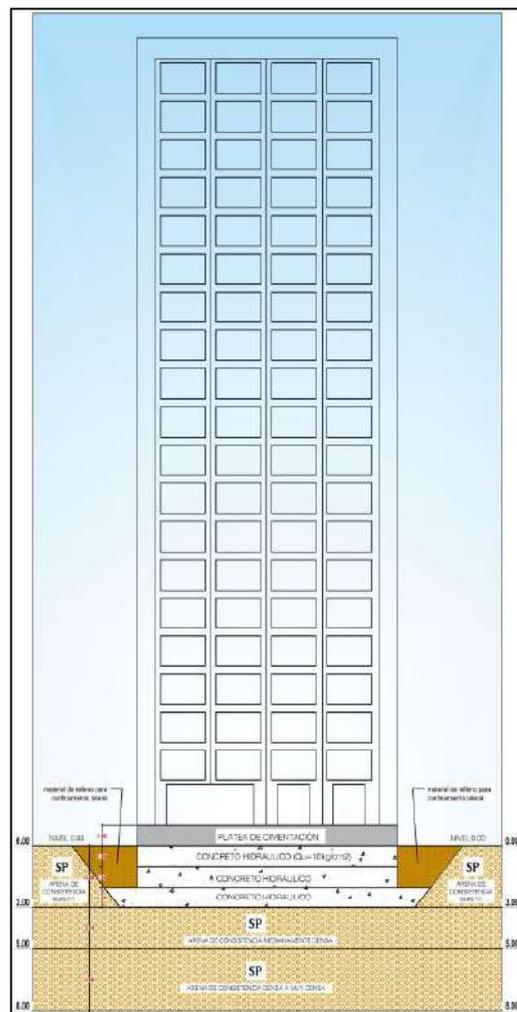


Figura 8 Esquema de Solución Geotécnica.  
(fuente: propia)

---

Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana

---

- Considerando que el suelo de apoyo hasta los 3m de profundidad, tienen baja resistencia y problemas de asentamientos por las grandes cargas de las 7 torres, se concluyó en reemplazar o retirar ese suelo, ya sea usando sótanos o colocando otro de mejores características geotécnicas.
- Se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción para la cimentación de la estructura es el reemplazo del suelo de apoyo, utilizar una losa de cimentación con dimensiones de 19.40 m de ancho y 58.65 m. de largo. Esta decisión se basa en las características geotécnicas de los suelos de apoyo en la zona. Asimismo, se propone emplear una técnica de estabilización que implica la aplicación de tres capas de concreto fluido hidráulico a una profundidad de 3.0 metros. Esta solución se llevará a cabo en el estrato de arenas finas limpias, este estrato se caracteriza por tener una consistencia densa y proporcionará una base sólida para la estructura.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de cemento normal tipo I, para la dosificación de la mezcla para la fabricación del concreto de las cimentaciones, debido a los resultados que determinan bajas concentraciones de sales solubles y sulfatos.
- Para todas las estructuras que conformen este proyecto las cimentaciones se deben apoyar en las arenas medianamente densas a densas, en los casos de cimentaciones superficiales se deberá sobre excavar y hacer rellenos controlados en capas compactadas o colocar sub cimiento de concreto pobre hasta alcanzar la cota de cimentación de 0.90m a 1.50m.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Ávila Brañes, Elizaldo Adelino; «Estudio de suelos con fines de cimentación Parque N°26 Biotecnológico Proyecto Villa Panamericana, » 2016.
- [2] F. Loyola y J. P. Zamora Beyk, «Servicio de ejecución de perforaciones, ensayos de campo y toma de muestras en le terreno del proyecto "Creacion de servicios adecuados de la Villa Panamericana",» FERLOZA, 2016.
- [3] M. A. Hernandez Aguilar, «Evaluacion Geotecnica del suelo de cimentacion para la construccion de edificios de 20 pisos de altura mediante calicatas y ensayos geofisicos, » GEOMASTER SAC., vol. 1, 2016.
- [4] Z. Aguilar Bardales, «Estudios geotecnicos con fines de cimentacion para las estructuras de las torres de la villa panamericana, » 2017.
- [5] M. Martinelli Montoya, «Estudio de Mecanica de suelos Villa Deportiva Panamericana Parque N°26, Villa el Salvador, » MyM CONSULTORES SRL., 2017.
- [6] R. N. d. Edificaciones, «Normal E.050 Suelos y Cimentaciones, » SENCICO, 2020.
- [7] Braja M Das, «Fundamentos de Ingenieria Geotecnica, » Mexico, vol. Cuarta Edicion, 2013.



## Aprendizaje basado en problemas en el curso de hidrología

### *Problem-Based Learning in Hydrology Courses*

**Maiquel López Silva, Dayma Carmenates Hernández, Oscar Brown Manrique,  
Belarmino Guivala, Fernando Brazao Tembe  
Universidad Ricardo Palma**

Recibido: 31 de enero de 2023

Aceptado: 03 de junio de 2023

#### **RESUMEN:**

En el artículo se desarrolló el aprendizaje basado en problemas (PBL) en el curso de Hidrología. Se enfocó en la experiencia de 10 años de dictado de clases con una muestra de 577 estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de Universidades Públicas y Privadas. El PBL fue validado por el Índice de Validez de Contenido (CVI), encuesta analítica y escala de Likert. Se logró un óptimo sistema de aprendizaje y evaluación de los estudiantes por unidad temática. La función de mejor ajuste fue exponencial positivo y un coeficiente de determinación de 0.77. La encuesta mostró que el 84.30% de los estudiantes tienen mayor motivación por el método PBL. Se alcanzó un CVI eficiente con un valor positivo creciente para los nuevos criterios de PBL. Se concluyó que el PBL proporciona una educación más consolidada y atractiva.

**Palabras clave:** educación STEAM, didáctica de las ciencias, aprendizaje de las ciencias, competencia científica, estadística hidrológica, evaluación del estudiante

#### **Como citar**

M. A. Hernández Aguilar y R. S. Vega López, «Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana», *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 19, n.º 19, pp. 109-120. jun. 2023.

#### **ABSTRACT**

In this article, we developed Problem-Based Learning in Hydrology Courses. It focused on the experience of 10 years in the hydrology subject with a sample of 577 students in the Civil Engineering career at Public and Private Universities. The PBL was validated by the Content Validity Index (CVI), analytical survey and Likert scale. An optimal system of teaching-learning and evaluation of students by the thematic unit was achieved. The function of the best positive exponential change and a determination coefficient of 0.77. The survey showed that 84.30% of students have higher motivation for PBL. An efficient CVI with an increasing positive value was achieved for the new PBL criteria. It was concluded that the PBL provides a more empowered and engaging education.

**Keywords:** STEAM education, science didactics, science learning, Scientific competence; hydrological statistics, Student Evaluation

Este artículo está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## INTRODUCCIÓN

El uso sostenible de los recursos hídricos se ha convertido en un tema globalizado y está cambiando a un ritmo sin precedentes porque es un recurso esencial para la supervivencia humana [1]. En este contexto, es un desafío adaptar los procesos de enseñanza y aprendizaje a los tiempos actuales. Los profesionales necesitan competencias laborales y profesionales para alcanzar un desarrollo sostenible. Para el desempeño de la actividad necesitan habilidades con alta integración en prácticas innovadoras las cuales se adquieren durante los programas de estudios universitarios. En este sentido, el curso de hidrología de la carrera de Ingeniería Civil encargado de la gestión y planificación, manejo y predicción integral de los recursos hídricos frente al cambio climático tiene una elevada repercusión en los cursos interdisciplinarios para la formación profesional por lo que es importante promover la motivación del aprendizaje.

El curso de hidrología requiere de altos conocimientos en la estadística provocando un estado de ansiedad, relacionado con aspectos epistemológicos y psicológicos que inducen al rechazo del entorno educativo [2]. Se deben buscar técnicas novedosas para la motivación, la creatividad y lograr una ecología interesante, atractiva y afectuosa.

Investigaciones recientes muestran la necesidad de mejoras continuas en el sistema de enseñanza, a través, de la implementación de sistemas de evaluación, interrelación de la teoría, las prácticas en el salón y en el campo [3]. Se ha detectado que el curso de hidrología aplicada en escenarios reales del profesional mejorando las habilidades y el aprendizaje [4]. Estos conjuntos de habilidades se enfatizan cada vez más en la sociedad dada la resolución de problemas mal estructurados dentro de la práctica del Ingeniero [5]. Debido a la naturaleza dinámica de la práctica del dominio, los docentes están buscando maneras de desarrollar mejor la resolución de problemas dentro de la configuración del salón de clases.

El aprendizaje basado en problemas (PBL), representa una forma efectiva de trabajar con los estudiantes. Es una propuesta educativa innovadora porque el aprendizaje se centra en el estudiante, que logra desarrollar una serie de habilidades y competencias indispensables en el entorno profesional actual, lo que repercute en interés y motivación [6]. El PBL es una técnica de enseñanza no tradicional en la que el problema impulsa el aprendizaje. Se plantean dificultades o experiencias del mundo real y los estudiantes buscan la información necesaria para resolverlas. Como resultado, el docente puede reducir el tiempo dedicado a las teorías y aumentar el tiempo dedicado a las prácticas en el estilo de enseñanza tradicional [7]. De hecho, [8], recomiendan la herramienta por ser eficaz en la enseñanza-aprendizaje y la retención de conocimientos a largo plazo.

En resumen, el PBL está diseñado para construir un plan de estudios centrado en el estudiante, proporcionándole autonomía para resolver problemas auténticos. [9] argumenta que las características de PBL incluye lo siguiente:

- Los estudiantes guían su propio aprendizaje. La naturaleza mal estructurada del caso auténtico permite una oportunidad para la investigación abierta.

- Los estudiantes deben tener la oportunidad de trabajar en equipo para resolver el problema.
- La reflexión es una parte importante del proceso de aprendizaje para consolidar las ideas encontradas durante la indagación.

La implementación original de PBL diversos investigadores están de acuerdo en que la Universidad McMaster fue uno de los primeros en promulgarlo como un plan de estudios para todo el sistema [10]. El equipo docente en lugar de centrarse en la enseñanza didáctica, utilizó casos clínicos reales como motor de investigación médica. Otro aspecto a señalar en el PBL es la reducción de las calificaciones a final de curso y en su lugar centrarse en evaluaciones formativas para refinar el aprendizaje. Dichas experiencias dieron paso contextualizar mejor el conocimiento y la expansión del método.

En particular, [11] analizaron un número de metanálisis sobre la eficacia del PBL y encontró que es más efectivo que el método tradicional. Resalta la retención del conocimiento a largo plazo, evaluación basada en desempeño y evaluación mixta. Aunque se conoce su base teórica del PBL, las investigaciones indican que los docentes adaptan sus estrategias de instrucción en función de los problemas reales a afrontar desde el salón de clases. En este contexto pueden incluirse enfoques adecuados o incluir desviaciones significativas del modelo PBL original [9]

Es notorio que existen escasas investigaciones en las áreas ingenieriles y en particular en el curso de hidrología. Sin embargo, son de destacar las desarrollados por [12], [13], [14] y [15]. Al respecto, existe una similitud de criterio entre los autores, plantean la necesidad en profundizar en las investigaciones sobre aprendizaje basado en problemas en los cursos de hidrología debido al enfoque en las aplicaciones del mundo real y la naturaleza interdisciplinaria de la hidrología moderna.

Por lo tanto, la creación de nuevos escenarios para el desarrollo de nuevas técnicas de aprendizaje como la adaptabilidad, la autonomía, el autoaprendizaje, el trabajo en equipo y el uso de nuevas herramientas y técnicas de trabajo integradas en PBL requiere especial importancia para la enseñanza-aprendizaje de los docentes y estudiantes. Enfatizado en investigaciones con largos periodos de tiempo para examinar a fondo los efectos del PBL en situaciones académicas.

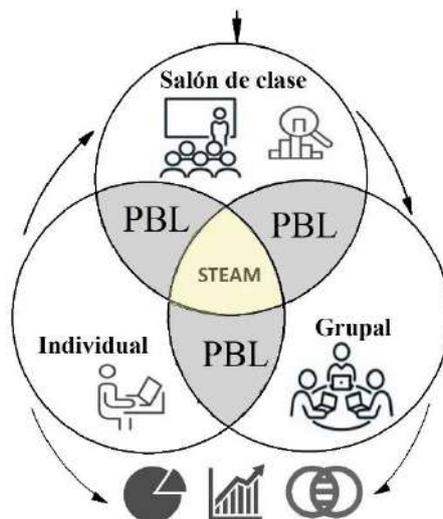
La educación y los empleadores del siglo XXI tienden a medir el nivel de habilidades en lugar del conocimiento de la profesión. Ligado a esto, existe evidencia científica de habilidades deficientes de los ingenieros [16], [17]. La educación STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) es un modelo de referencia interdisciplinario que ayuda a los estudiantes a adquirir y aplicar conocimientos desde diversas perspectivas para obtener soluciones prácticas a problemas complejos [18].

El modelo STEAM es una forma de aprender basada en resolver problemas, hacer preguntas y buscar nuevas respuestas, lo que presenta un desafío en la forma de entregar el aprendizaje. Pero, ¿Cómo desarrollamos las habilidades y qué estrategia será la más efectiva? Como posible respuesta, se basa el propósito de la investigación, plantear el aprendizaje basado en problemas reales en el curso de hidrología.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño del modelo PBL

El curso de hidrología forma parte del plan de estudios de los estudiantes de Ingeniería Civil a nivel internacional, al igual que en otras ciencias de la tierra. En cuanto a formar un profesional que resuelva los problemas demandados por la sociedad y los empleadores, se propusieron de manera más cautivadora criterios basados en PBL que sean alcanzables y medibles en el tiempo, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Modelo del PBL en el curso de Hidrología.

Fuente: Elaboración propia

Dentro del marco aplicado en el PBL comenzó el docente en el salón de clases con discusiones reflexivas entre los estudiantes. Se plantean hipótesis, se indagan en los antecedentes y se investiga en las necesidades. De ahí, se derivan criterios específicos, como la formulación de investigaciones con ideas atractivas, poderosas y desafíos genuinos para provocar aprendizajes y la propuesta de diversas soluciones posibles. En general, plantea una audiencia real donde los estudiantes puedan registrar sus datos y durante el proceso, brindar solución a una dificultad. Se espera generar en los estudiantes pensamiento lógico y estadístico, creatividad e innovación, se fomenta el aprendizaje de los errores, el trabajo en equipo, el liderazgo y la comunicación.

### Desarrollo del criterio

El criterio de PBL fue aplicado a estudiantes de Universidades Públicas y Privadas de Cuba, Mozambique y Perú. El tamaño total de la muestra fue de 577 estudiantes durante 10 años, equivalente a 20 ciclos. Los trabajos de investigación, salón de prácticas, laboratorio y prácticas de campo enfocados a la solución de problemas reales del ciclo hidrológico.

El PBL comienza con la introducción de un problema real a nivel de país, región o localidad en el que todo el aprendizaje se centra en la búsqueda de la solución. Los docentes asumen el papel de entrenadores cognitivos y los estudiantes asumen el papel de solucionadores activos de problemas, tomadores de decisiones, y creadores del resultado.

El análisis general de los PBL de la carrera de hidrología se desarrolló en los espacios de comunicación con los estudiantes, como clases teóricas, prácticas, laboratorio y prácticas de campo. El docente utilizó medios didácticos y técnicas de aprendizaje como aspectos del aula invertida, para facilitar y viabilizar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Las actividades del docente se diseñaron enfocados en la resolución de problemas, estudios de casos, simulaciones, proyectos de investigación, prácticas de campo, discusiones, lectura y comprensión (resúmenes, ensayos, cuestionarios y videos). El docente fue guiado para mantener un ambiente didáctico en el aula con motivación, interés, aptitud, empatía y participación. Mediante experiencias desafiantes y atención personalizada al estudiante. Por su parte, el estudiante fue protagonista de su aprendizaje, sintiéndose a gusto en la investigación con la resolución de problemas, descubrimientos y reflexión de sus hallazgos. Se realizaron preparaciones previas con materiales proporcionados por el docente, tales como libros, artículos científicos, normas, videos, podcasts e infografías.

En el caso del método tradicional del aprendizaje los docentes plantearon un rol de difusores del conocimiento, el poder y la autoridad. El contenido curricular impartido totalmente racionalista y apegado a la ciencia. Los planteamientos de los problemas eran completamente con pensamientos empíricos, teóricos del tipo descriptivo. En fin, en método tradicional, el contenido era creado por los conocimientos y valores acumulados por la sociedad y las ciencias.

Al final de cada ciclo, se aplicó una encuesta analítica que integró todas las materias impartidas como método para confirmar la validez del PBL y el método tradicional. Por su parte, la información fue procesada mediante estadística descriptiva e inferencial con el programa IBM SPSS Statistics versión 26.

### Validez del criterio

Para ello, se utilizó el Índice de Validez de Contenido (CVI) propuesto por [19]. El grupo de estudiantes por ciclo es considerado la principal variable por parte de los evaluadores. El CVI se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$CVI = \frac{n_e - N/2}{N/2} \quad (1)$$

Donde  $n_e$  es el número de estudiantes por ciclo que califican como favorable la aplicación práctica del PBL,  $N$  es el número total de estudiantes que hacen el examen. [19] sugirió que el CVI varía de +1 a -1, con puntajes positivos que indican una mejor validez de contenido.

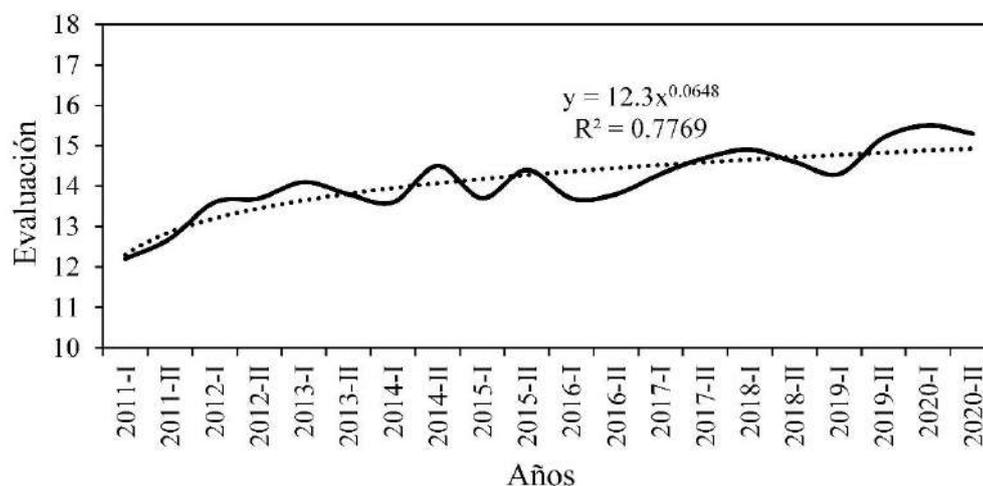
Asimismo, la encuesta fue analizada por los espacios de comunicación con los estudiantes que fueron divididos en Salón de clases, Práctica/Laboratorio, Proyectos de Investigación/Prácticas de campo o visitas técnicas. Se utilizó la “Escala de Likert” [20],

Maiquel Lopez Silva, Dayma Carmenates Hernández, Oscar Brown Manrique, Belarmino Guivala, Fernando Brazao Tembe

una de las técnicas psicométricas más conocidas por su facilidad de aplicación y precisión. La escala de Likert fue de 1 a 5, igual a 1 muy insatisfecho, 2 insatisfecho, 3 no muy satisfecho, 4 satisfecho y 5 muy satisfecho. Para la corrección de sesgos, se utilizó el sesgo simple a la varianza utilizando el divisor (n-1).

## RESULTADOS

La aplicación del PBL mostró resultados favorables para mejorar el proceso aprendizaje. En la figura 2 se observa la tendencia a mejorar los sistemas de aprendizaje y evaluación de los estudiantes. Se obtiene una función exponencial de mejor ajuste con un exponente entero positivo y un coeficiente de determinación de 0.77.



**Figura 2.** Evaluación del sistema de aprendizaje.

Fuente: Elaboración propia

La forma creciente de la curva estuvo dada por mejoras continuas realizadas al enfoque del PBL, así como al ambiente didáctico, la atención personalizada y trabajo en grupos. El uso de herramientas tecnológicas y un ambiente propicio para que los estudiantes experimentaran el razonamiento y pensamiento estadístico e hidrológico en la solución de PBL.

Enfatizar, que otros factores contribuyeron a las mejoras en las calificaciones de los estudiantes. Entre ellos, la actitud emocional positiva del docente sumado a un profundo conocimiento pedagógico, técnico y científico para el adecuado desarrollo de la motivación profesional. De hecho, contribuyó a elevar el rendimiento académico de los estudiantes.

Además, nuevas estrategias para la instrucción centrada en el estudiante con métodos novedosos de análisis del contenido del trabajo aumentaron la pedagogía virtual y también se introdujeron técnicas de aula invertida. Es evidente, que en la función matemática que se muestra en la figura 2, existen intervalos con pendientes negativas, lo que refleja las limitaciones que impone el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la educación Universitaria.

La comparación del criterio de PBL con el criterio tradicional se realizó de acuerdo al porcentaje de aceptación de los estudiantes, el cual se ilustra en la Tabla 1. En el valor medio de 444 estudiantes representan el 77.02% de los que consideran que han mejorado su sistema de aprendizaje como el razonamiento estadístico e interpretación de los resultados. Los valores máximos se obtuvieron con 506 estudiantes que representa el 87.77%.

**Tabla 1.** Comparación estadística

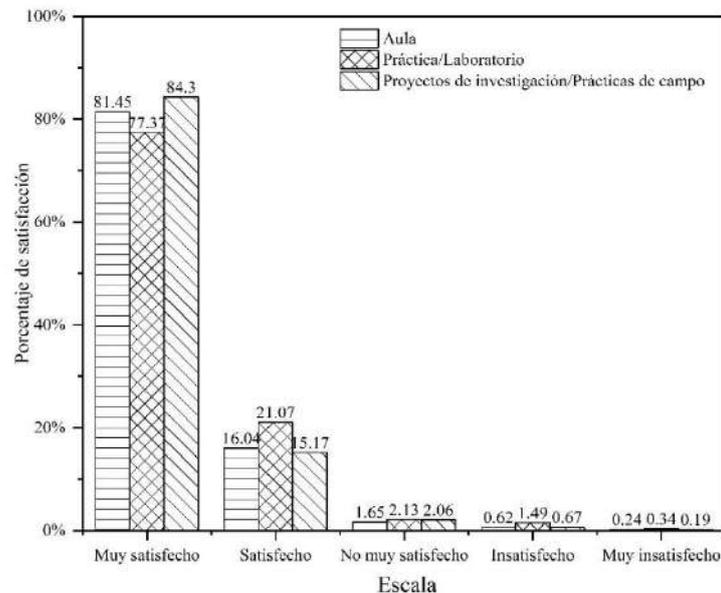
<b>Parámetros</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Tradicional</b>
Media	77.02	22.98
Mediana	80.82	19.18
Moda	56.77	12.23
Mínimo	56.77	12.23
Máximo	87.77	43.23
Desviación estándar	9.12	17.86
Asimetría	-1.15	1.15
Curtosis	0.46	0.46
95% de intervalo de confianza de la diferencia		
T Students	Sig. (bilateral)	0.00
Wilcoxon	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.00
Friedman	Asymp. Sig.	0.00
Kendalls W	Asymp. Sig.	0.00

Fuente: Elaboración propia

La desviación estándar del método basado en PBL también demostró una mayor consolidación e interés por el método. Asimismo, la desviación estándar está menos dispersa alrededor de la media que el método tradicional, siendo este último, menos atractivo para los estudiantes en su aprendizaje. Además, se ratifica mediante la prueba de hipótesis t de Student para varianzas de dos submuestras. La probabilidad (valor P) para el intervalo de confianza del 95% fue inferior al nivel de significancia ( $\alpha=5\%$ ). El uso de las Pruebas no paramétricas de Wilcoxon, Friedman y Kendall confirma que existen ventajas al utilizar el PBL frente al tradicional. Finalmente, se tomó la decisión de rechazar  $H_0$  y aceptar  $H_1$ , demostrando que difiere el PBL y el tradicional.

El resultado del CVI en 10 años, ha mostrado una aceptación del método PBL por parte de los estudiantes frente al método tradicional. Según la clasificación de [19], en todo momento el CVI ha marchado en ascenso positivo, indicando la aprobación del PBL para el aprendizaje en el curso de Hidrología. En síntesis, el PBL propicia un enfoque de instrucción que permite a los alumnos desarrollar simultáneamente estrategias de resolución de problemas, conocimiento disciplinario e investigación habilidades. Los estudiantes se convierten en solucionadores activos de problemas que se enfrentan a un problema mal estructurado.

Maiquel Lopez Silva, Dayma Carmenates Hernández, Oscar Brown Manrique, Belarmino Guivala, Fernando Brazao Tembe



**Figura 3.** Porcentaje de satisfacción de los estudiantes

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la figura 3 los porcentajes de satisfacción de los estudiantes. Se encuestó al 92.55% de los estudiantes. De ellos, el 81.04 % estaban muy satisfechos, el 17.43 % satisfechos, el 1.95 % estaban poco satisfechos, el 0.93 % estaban insatisfechos y el 0.26 % estaban muy insatisfechos. Al analizar los escenarios más prácticos del PBL como la actividad de proyecto de investigación y prácticas de campo logró un 84.30%, el salón de clase un 81.45% y prácticas/ laboratorio un 77.37%. Los resultados muestran que el mayor aprendizaje de la hidrología es a través de proyectos de investigación y prácticas de campo.

## DISCUSIÓN

El aprendizaje de la hidrología basado en PBL se fundamentó con el riguroso análisis matemático - estadístico en las materias desde las más simples hasta las más complejas y de difícil asimilación. A su vez, se constató su desarrollo mediante el modelo tradicional. Mientras que, la información fue procesada con pruebas paramétricas, no paramétricas y el CVI. Se encontró, que el estudiante tiende a mostrar mayor interés y preocupación por el desarrollo de las actividades mediante los PBL. Buscan interrelacionarse más con los aspectos tecnológicos, facilitando habilidades en procesamiento de datos, razonamiento, pensamiento creativo y crítico sobre problemas reales. Se demuestra en los resultados de las evaluaciones una pendiente positiva creciente. En el mismo contexto, varios estudiantes solicitaron mejorar en sus evaluaciones continuas, parciales y finales. Según la estadística aplicada, se observa que el 87.77% de los estudiantes prefieren el método propuesto que involucra la tecnología en contextos reales-físicos y brinda una experiencia afectiva positiva para los estudiantes. Asimismo, un conjunto de actividades de aprendizaje en grupo donde se fomenta el trabajo colaborativo y autónomo.

Estos resultados son superiores a los informados por [21]. Se ha constatado en las encuestas que las Universidades con mayor acceso tecnológico influyen positivamente en

las capacidades de los estudiantes para participar y recibir aprendizajes auténticos. Estos estudiantes, presentan una destreza superior en búsqueda de resultados en diferentes direcciones. Insertan no solo la solución, plantean ideas innovadoras, consideran número de variables, gestión de datos, viabilidad de soluciones y el tiempo de solución. Al mismo tiempo, las interacciones afectivas con los fenómenos sociales en el campo del PBL mejoraron la participación y el aprendizaje. Se ratifica que las tecnologías digitales benefician la enseñanza y las competencias digitales siempre en un ambiente eco-responsable [22]. Aspectos, fundamentales para obtener un profesional más integral y componente en el mercado laboral.

La prueba estadística fue considerada un análisis válido y riguroso en las variables involucradas para una óptima toma de decisiones. El PBL mostró diferencia significativa frente a la enseñanza tradicional. En el CVI, el estudiante hacía el rol de evaluador y presentó valores positivos, que se encuentra dentro de los valores aceptables de 0.14 a 0.72 de acuerdo con [23]. Pero, según [24], son más efectivos cuando superan el valor de 0,58. En este sentido, el 35% de los resultados del CVI no cumplirían, dados los primeros años de implementación del modelo PBL. Pero, los resultados de esta investigación se han mantenido desde 2014-II superiores a 0.58, por lo que sería interesante en futuras investigaciones reflejar un análisis riguroso del método.

La encuesta mostró que los estudiantes adquieren más interés en proyectos de investigación y prácticas de campo en un 84.30% que no son más que el sistema PBL, lo que representa 451 estudiantes de 534 encuestados. Los resultados son posibles debido a un ambiente adecuado basado en los intereses, motivaciones y conocimientos previos de estadística de los estudiantes. Asimismo, la autogestión del aprendizaje para utilizar los recursos educativos diseñados y el entorno del método de acción. El diseño de PBL vinculados a situaciones de la vida real en que los estudiantes enfrentarán en su vida profesional, permitió ratificar que se estimula el pensamiento creativo y crítico. La efectividad de diferentes enfoques pedagógicos como el PBL, en análisis de casos, demostró contribuir a la entrega de conocimientos y contenidos a los estudiantes de la Educación Superior, resultados que están en concordancia con [7].

El alto porcentaje de satisfacción se debe a que los estudiantes están más motivados por el conocimiento real al que se enfrentarán en su vida profesional, aspectos destacables que coinciden con [8], [25]. Asimismo, el docente juega un papel fundamental en el diseño de la actividad, la orientación y retroalimentación de los problemas, así como la enseñanza personalizada y en grupo.

En conversaciones informales entre docentes y estudiantes, así como entre ellos existía un ambiente saludable e interesados más en el curso. Los estudiantes mencionaron que disfrutaban más el método del PBL a partir de proyectos de investigaciones reales, visitas en campo y metodologías novedosas plasmadas en artículos científicos. Por ello, ayudó a la comprensión de las teorías, sus habilidades de investigación, solución del problema y su capacidad para seleccionar, organizar y presentar los resultados para su disertación. Fueron aspectos que también señaló [14], que los proyectos de investigación es un complemento fuerte para fortalecer el vínculo entre la teoría y la práctica.

Maiquel Lopez Silva, Dayma Carmenates Hernández, Oscar Brown Manrique, Belarmino Guivala, Fernando Brazao Tembe

Como es notorio, la encuesta también identificó algunas debilidades. El 77.37%, indicando que las infraestructuras y tecnologías de los laboratorios de computación en las universidades influyen en el logro efectivo de la enseñanza de la hidrología. En el mismo contexto, varios investigadores [17], [26] and [27], han demostrado que el uso de las tecnologías brinda nuevas oportunidades para un profesional más integral.

Finalmente, el rol del docente cuando aplica el PBL en hidrología tiende a ser significativo en la consolidación del aprendizaje desde una posición motivacional en la que involucra a los estudiantes en experiencias reales o fenómenos naturales que afectan a la sociedad, con lo cual pueden generar contradicciones a sus hipótesis iniciales y así estimular la discusión. Estos son aspectos que contribuyen a que el estudiante establezca conexiones entre los conceptos e ideas estudiados antes de clase. Asimismo, incentivan al estudiante en el desarrollo de la autonomía, el liderazgo y la autoestima cuando tenga dificultades o carencia de habilidades.

Se puede precisar que las evaluaciones y capacidades de los estudiantes no mostraron diferencias significativas entre Universidades Públicas y Privadas, pero se evidenció un incremento en el grado de motivación de los estudiantes en ambas modalidades de servicio educativo. Finalmente, al culminar la carrera, muchos continúan con sus proyectos para optar por el Título de Ingeniero Civil y, en otros casos, para publicar sus resultados en revistas indexadas.

## CONCLUSIONES

El enfoque desarrollado para el aprendizaje de la hidrología permitió a los estudiantes desarrollar competencias generales y específicas. Al respecto, se refleja la aceptación del PBL y su estado emocional a través, de mejoras en sus evaluaciones de la función matemática de tipo exponencial. Validado por las diferencias significativas de forma estadística entre los métodos PBL y el tradicional. Asimismo, CVI alcanzó valores positivos superiores a 0,14 dentro de valores aceptables.

Al mismo tiempo, la gestión de la motivación por el aprendizaje debe estar integrada en todos los elementos que definen el diseño y desarrollo de la docencia. Los docentes deben utilizar estrategias cognitivas y metacognitivas y otros modelos que les permitan gestionar su motivación como el PBL con 84.30% de estudiantes satisfechos con los conocimientos adquiridos en base a las herramientas, tecnologías y su aplicación práctica en la profesión de Ingeniería Civil.

Un hallazgo importante es que existen diferencias en los planes de estudio de estadística hidrológica entre los países y entre Universidades Públicas y Privadas. Sin embargo, se recomendaría para trabajos futuros un análisis comparativo. Los beneficios de realizar esta investigación radican en el impacto novedoso de evaluar las competencias científicas, así como, enriquecer y homogeneizar criterios de enseñanza y aprendizaje universitaria a nivel global. Asimismo, podría brindar información valiosa sobre la influencia de las competencias científicas en los contenidos específicos y generales y su impacto en la formación profesional.

El principal hallazgo de la investigación desarrollada es el impacto positivo de la aplicación durante 10 años el método de PBL, que brinda una herramienta pedagógica integral para enfrentar situaciones críticas del desarrollo sostenible en diferentes regiones del mundo a través, del proceso del aprendizaje. No obstante, se necesita un estudio más profundo para comprender el efecto sobre el tema de la Hidrología como ciencia interdisciplinaria. En respuesta a la conclusión anterior, se debe ampliar el trabajo futuro sobre el número de cursos en el instrumento, los cursos de las ciencias de la tierra y el rendimiento académico para evaluar el impacto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Licciardello, S. Consoli, C. Cirelli, A. Fernández, G. Montejo y E. Taguas, "Technology enhanced Learning for Promoting Technical and Social Competences in Hydrological Science", *Technology Knowledge and Learning*, vol. 26, pp. 985-997, 2021.
- [2] S. Haag y R. Megowan, "Building Competence in Science and Engineering", *Standards*, vol. 1, p. 39-52, 2021.
- [3] L. Timofeeva y Z. Timofeeva, "Competency-Based Training in Hydrological Education", de *Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference*, Rezekne, Latvia, 2019.
- [4] S. Uhlenbrook y E. Jong, "T-shaped competency profile for water professionals of the future", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, pp. 3475-3483, 2012.
- [5] J. Mainert, C. Niepel, K. Murphy y S. Greiff, "The incremental contribution of complex problem-solving skills to the prediction of job level, job complexity, and salary", *Journal of Business and Psychology*, vol. 34, n° 6, pp. 825-845, 2019.
- [6] G. Gorghiu, L. Drăghicescu, S. Cristea, A. Petrescu y L. Gorghiu, "Problem-based Learning - An Efficient Learning Strategy in the Science Lessons Context Procedia", *Social and Behavioral Sciences*, vol. 191, n° 2, pp. 1865-1870, 2015.
- [7] E. Forcael, V. González, F. Orozco, A. Opazo, A. Suazo y P. Aránguiz, "Application of Problem-Based Learning to Teaching the Critical Path Method", *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 13, n° 3, pp. 857-871, 2017.
- [8] H. Yew y K. Goh, "Problem-Based Learning: An Overview of its Process and Impact on Learning", *Health Professions Education*, pp. 2452-3011, 2016.
- [9] A. Andrew, T. Tawfik, J. Jaclyn, L. Gish y J. Gatewood, "How K-12 Teachers Adapt Problem-Based Learning", *IUScholarWorks Journals.*, vol. 15, 2021.
- [10] M. Moallem, W. Hung y N. Dabbagh, "The Wiley Handbook of Problem-Based Learning, Wiley, 2019.
- [11] J. Strobel y B. van, "When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses comparing PBL to conventional classrooms", *Interdiscip J Problem-based Learn*, vol. 3, n° 1, 2009.
- [12] S. Lyon y C. Teutschben, "Problem-Based Learning and Assessment in Hydrology Courses: Can Non-Traditional Assessment Better Reflect Intended Learning Outcomes?", *Journal of Natural Resource and Life Sciences Education*, vol. 40, pp. 199-205, 2011.

- [13] I. Ngambeki, . S. Thompson, P. A. Troch, . M. Sivapalan y D. Evangelou, "Engaging the students of today and preparing the catchment hydrologists of tomorrow: student-centered approaches in hydrology education", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 9, pp. 707-740, 2012.
- [14] A. Van Loon, "Learning by doing: enhancing hydrology lectures with individual fieldwork projects", *Journal of Geography in Higher Education*, vol. 43, n° 2, pp. 155-180, 2019.
- [15] P. Tania, A. Guernes Dias y C. Vasconcelos, "Geology and Environment: A Problem-Based Learning Study in Higher Education", *Education in Geosciences*, vol. 11, n° 4, 2021.
- [16] H. Cho, K. Zhao y C. Lee, "Active learning through flipped classroom in mechanical engineering: improving students perception of learning and performance International Journal of STEM Education", *International Journal of STEM Education*, vol. 8, n° 46, 2021.
- [17] R. Chowdhury, "Industry-Practice-Based Engineering Hydrology Education at USQ", *Australia Education Sciences*, 9, 213, vol. 9, 2019.
- [18] J. Jesionkowska, F. Wild y Y. Deval, "Active Learning Augmented Reality for STEAM education a Case Study", *Education Sciences*, vol. 10, n° 198, 2020.
- [19] C. Laswshe, "A quantitative approach to content validity", *Personnel Psychology*, vol. 28, n° 4, pp. 563-575, 1975.
- [20] R. Likert, "A technique for development of attitude scales ", *Archives of Psychology*, vol. 140, pp. 44-53, 1932.
- [21] R. Hite, P. Solís, L. Wargo y T. Larsen, "Exploring Affective Dimensions of Authentic Geographic Education Using a Qualitative Document Analysis of Students Youth Mappers Blogs", *Education Sciences*, vol. 8, n° 173, 2018.
- [22] S. Barragán, V. Corujo, R. Palacios y G. Román, "Teaching Digital Competence and Eco-Responsible Use of Technologies: Development and Validation of a Scale", *Sustainability*, vol. 12, 2020.
- [23] D. Polit, C. Beck y S. Owen, "Is the CVI an acceptable indicator of content validity?", *Appraisal and recommendations Research in Nursing Health*, vol. 30, p. 459–467, 2007.
- [24] L. Tristán, "Modificación al modelo de Lawshe para el dictamen cuantitativo de la validez de contenido de un instrumento objetivo", *Avances en Medición Instituto de Evaluación e Ingeniería Avanzada*, vol. 1, pp. 37-48, 2008.
- [25] A. Argaw, B. Haile, B. Ayalew y S. Kuma, "The Effect of Problem Based Learning (PBL) Instruction on Students Motivation and Problem Solving Skills of Physics". *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol.13, p. 857-871.
- [26] W. Duan, S. Maskey, B. Chaffe y P. Luo, "Recent Advancement in Remote Sensing Technology for Hydrology Analysis and Water Resources Management", *Remote Sensing*, vol. 13, 2021.
- [27] J. Seibert, S. Uhlenbrook y T. Wagener, "Hydrology education in a changing world", *Hydrology and Earth System Science*, vol. 17, p. 1393–1399, 2013.

# Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID

## 120 liter craft beer brewing plant using PLC and a PID temperature control

Neyra Fernández Ángel, Acosta Acho Jesús, Ricardo J. Palomares Orihuela

**RECIBIDO:** 22 de setiembre del 2022

**ACEPTADO:** 15 de marzo 2023

### RESUMEN

En la investigación se diseñó cada pieza de la mini – planta por el software de SolidWorks, para los tanques se consideró de material acero inoxidable por su alta resistencia a la corrosión. El análisis eléctrico consistió en el diseño del tablero eléctrico y la distribución de los equipos eléctricos se consideró un motor de baja tensión, cuatro bombas recirculadas y dos resistencias calentadoras para los tanques de maceración y cocción, cumpliendo con el funcionamiento y con el objetivo propuesto; se realizó el cálculo de la cantidad de potencia que trabaja la mini – planta. Para el sistema de control se programó un PLC y se simuló por HMI la cual permite que el operario pueda manipular de manera sencilla los cuatro procesos. La temperatura en los procesos de maceración y cocción son controlados por un PID. Como resultado, se logró diseñar y simular el comportamiento mecánico, logrando tener las presiones positivas, tensiones mínimas de 0 MPa y máximas de 10.39 MPa con límite de fluencia de 206.8MPa y factor de seguridad de 11, para los soportes, y 0.01 MPa y una máxima de 29.42 MPa con límite de fluencia de 137.9 MPa y factor de seguridad de 4.7 para las tapas de los tanques. Se realizó un análisis de consumo de potencia obteniendo como resultado 3473W. Con el software Matlab se logró programar y sintonizar un controlador de temperatura PID teniendo como resultado  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  y  $K_d=0$ .

**Palabras claves:** Procesos Industriales Automatizados, Controlador PID, Fabricación de Cerveza Artesanal.

### Como citar

N. Fernández Ángel, A. Acho Jesús, y R. J. Palomares Orihuela, «Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID», *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 19, n.º 19, pp. 135-147. jun. 2023.

### ABSTRACT

In the investigation, each piece of the mini-plant was designed by SolidWorks software, for the tanks stainless steel material was considered due to its high resistance to corrosion. The electrical analysis consisted of the design of the electrical panel and the distribution of the electrical equipment, considering a low voltage motor, four recirculated pumps and two heating resistors for the maceration and cooking tanks, complying with the operation and with the proposed objective; the calculation of the amount of power that the mini-plant works was made. For the control system, a PLC was programmed and simulated by HMI which allows the operator to easily manipulate the four processes. The temperature in the mashing and cooking processes are controlled by a PID. As a result, it was possible to design and simulate the mechanical behavior, achieving positive pressures, minimum stresses of 0 MPa and maximum stresses of 10.39 MPa with a yield point of 206.8MPa and a safety factor of 11, for the supports, and 0.01 MPa and a maximum of 29.42 MPa with a yield limit of 137.9 MPa and a safety factor of 4.7 for the tank covers. A power consumption analysis was carried out, obtaining 3473W as a result. With the Matlab software, it was possible to program and tune a PID temperature controller, resulting in  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  and  $K_d=0$ .

**Keywords:** Automated Industrial Processes, PID Controller, Craft Beer Brewing

Este artículo esta publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Portal de la Marca Perú, en el 2015, el mercado de la cerveza artesanal aún se encuentra en expansión en nuestro país. Se vende anualmente aproximadamente 1 millón y medio de litros, cuyos precios oscilan entre 15 y 20 soles por litro. La cerveza artesanal representa únicamente el 0.01% del mercado total de cervezas y es considerada como un producto con alto potencial.

Según la IFR Statistical Department, el parque de robots en el año 2013 en América Central y del Sur era de 9600 unidades, de estos el Perú solo contaba con unos 20, que fueron instalados usando recursos tecnológicos extranjeros, ya que nuestro país no estaba preparado para proveer el personal técnico adecuado para las labores de implementación y mantenimiento.

Estos últimos años, se ha iniciado un real interés por automatizar el sector productivo en el Perú. Muchas empresas han comenzado a introducir la automatización y los robots industriales en sus procesos de producción, por ejemplo, empresas de fabricación en el sector alimenticio, de estructura metálicas (soldadura), de cemento, de la industria pesquera y en la manipulación y empaque en todos los rubros de producción. Debido a la globalización, las empresas peruanas han comprendido que compiten con otras de todo el mundo y que la única forma de hacerlo es automatizando, es decir mejorando su productividad, calidad y confiabilidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto abarca la mini-planta cervecera que es controlado por el PLC en la cual se puede conectar los componentes eléctricos para posterior hacer la programación adecuada del funcionamiento de la planta para su elaboración de la cerveza artesanal, tal como se muestra en la figura 1.

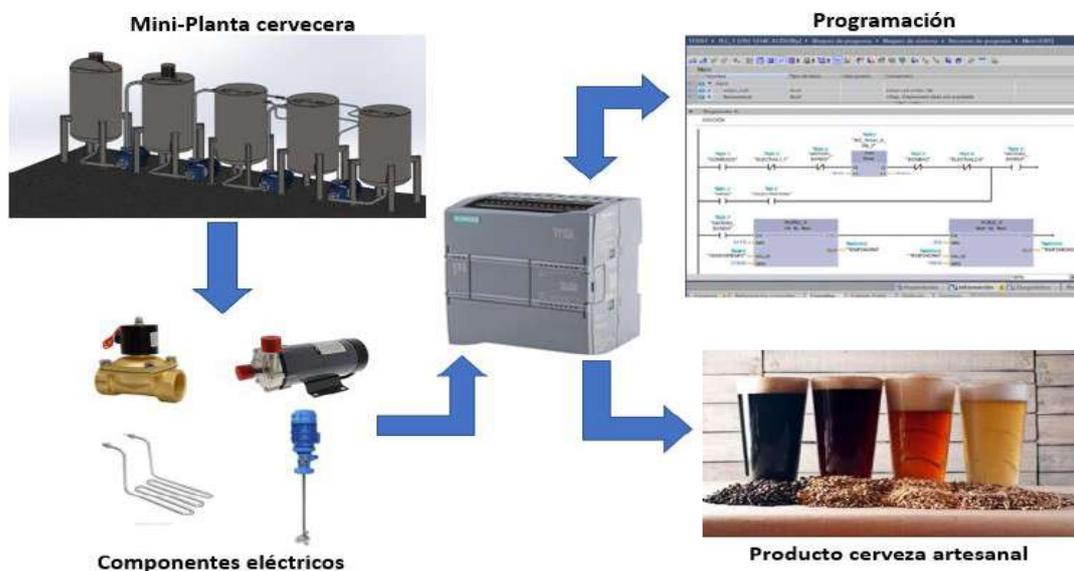


Figura 1. Proyecto de la elaboración de la cerveza artesanal

En la figura 2 detalla el procedimiento que conlleva esta etapa del diseño de la planta.



Figura 2. Flujograma del desarrollo de la solución propuesta

### Diseño de los tanques

El diseño propuesto del tanque de maceración y cocción consta de 4 partes: tapa, agitador, filtro y cubierta, lo que se muestra en la figura 3.

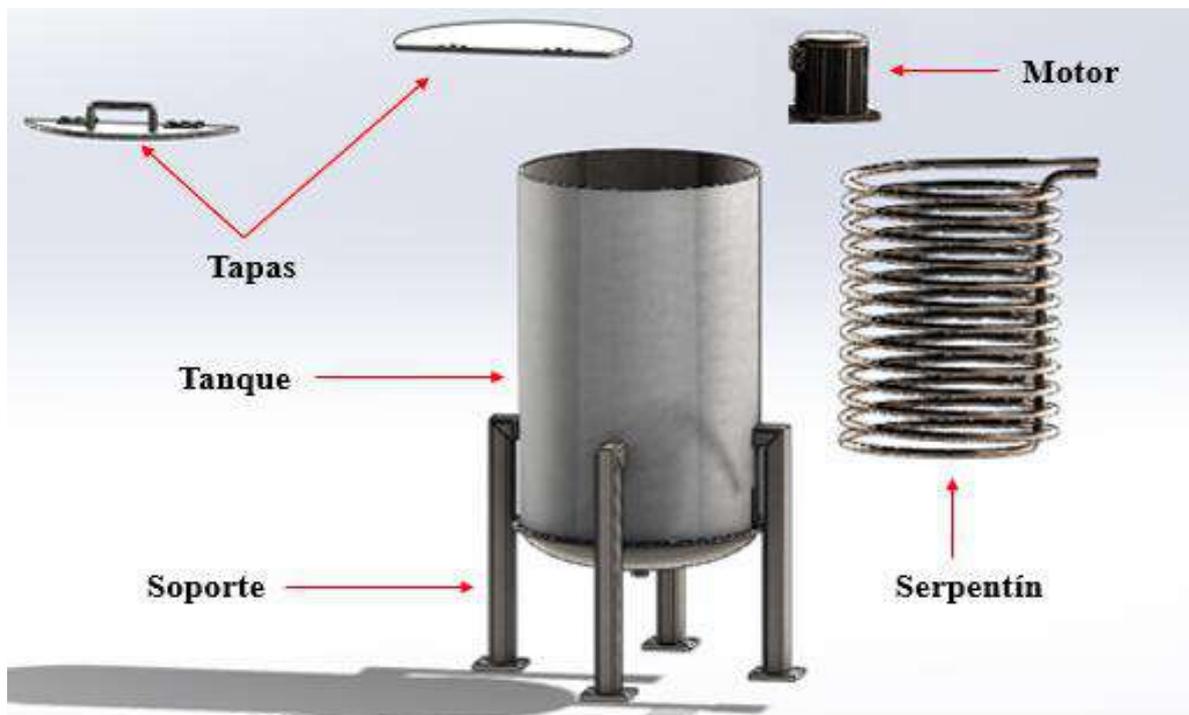


Figura 3. Diseño de las partes del tanque

En la figura 4 se puede visualizar como es que dentro del tanque influyen las presiones de todas las paredes de este, observando que no posee ninguna fuga de presión ya que podemos ver que todas las flechas rojas se encuentran dentro del tanque, lo que se muestra son fugas de presión hidrostática.

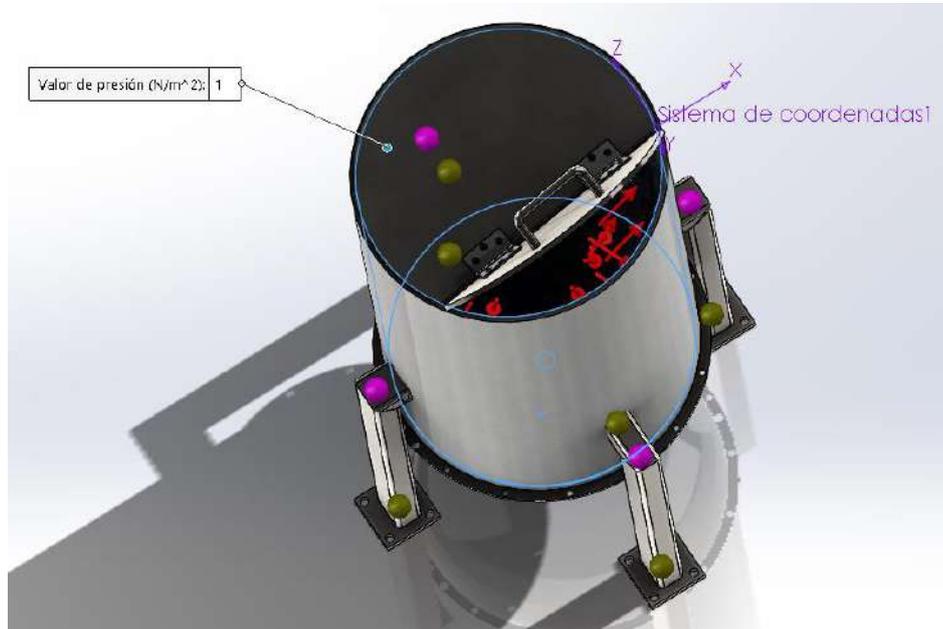


Figura 1. Presión hidrostática del tanque

### Tablero eléctrico

El montaje del tablero eléctrico es realizado por el software AutoCAD Electrical la cual cuenta con ocho interruptores termomagnéticos, seis contactores eléctricos, tres fusibles, fuente de 24 VDC, PLC S71200 CPU1214C AC/DC/RLY y módulos de entradas digitales. En la figura 5 muestra las dimensiones exteriores del tablero eléctrico.

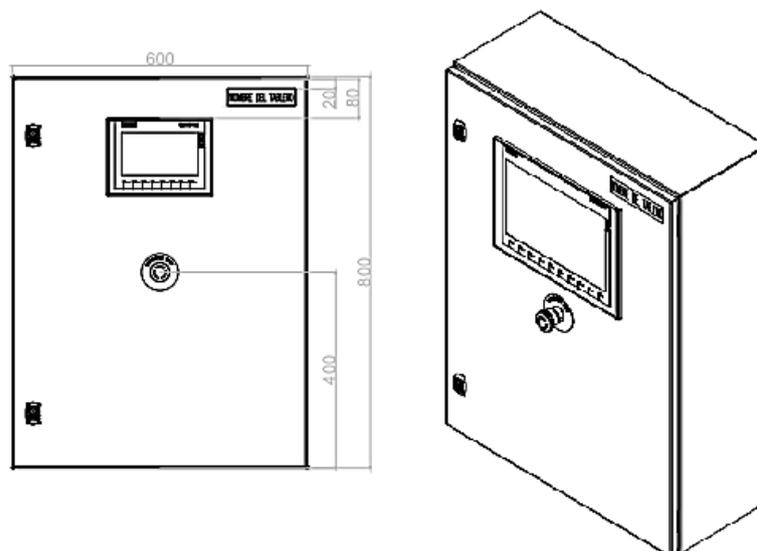


Figura 2. Esquema del tablero eléctrico-vista exterior

### Cálculo para determinar la bomba

Las bombas están diseñadas de diferentes potencias, capacidad, consumo eléctrico, entre otros; la selección de la bomba a utilizar se evaluó de acuerdo con la aplicación, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de tipos de bombas

Características	Bomba de recirculado	Bomba magnética
Cabezal	Acero 304	Plástico
Potencia	10W-220V	10W-240V
Velocidad de flujo	16 a 19 l/m	12 a 19 l/m
Roscal	1/2"	1/2"
Max. temperatura	Hasta 140°C	Hasta 90°C

**Nota:** [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-440656429-bombarecirculado-para-cerveza-cabezal-acero-inoxidable-304-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-440656429-bombarecirculado-para-cerveza-cabezal-acero-inoxidable-304-_JM)

La bomba que se seleccionó para esta aplicación es la bomba recirculada, ya que cuenta con una mayor capacidad de velocidad de flujo y soporta mayor temperatura debido a que trabajaremos a temperaturas muy altas.

### Selección de PLC

Para seleccionar el tipo de controlador lógico programable se elaboró un cuadro comparativo para determinar qué equipo se adecua mejor a la aplicación de la automatización de la elaboración de cerveza artesanal, así como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Características de controladores lógicos programables

Características	PLC S7-1200	LOGO V8
Diseñado	Para tareas más complejas	Para tareas sencillas
Software	TIA PORTAL	LOGOSOFT
Precios	500/800 USD aprox.	350/200 USD aprox.
Entradas	14 entradas digitales y 2 entradas analógicas	4 entradas digitales y 4 entradas analógicas
Salida	10 salidas digitales	4 salidas digitales
Suministro de voltaje	24V DC	12/24 V DC

**Nota:** <https://halud.co/tienda/plc-s7-1200-cpu-1214c-ac-dc-rly-2/>

Se seleccionó un controlador PLC S71200 CPU1214C AC/DC/RLY, debido a que este dispositivo consta de 14 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 10 salidas digitales y alimentado con 220VAC Monofásica.

En la figura 6 se muestra el circuito de control para la automatización de la Mini-planta de 120 litros.

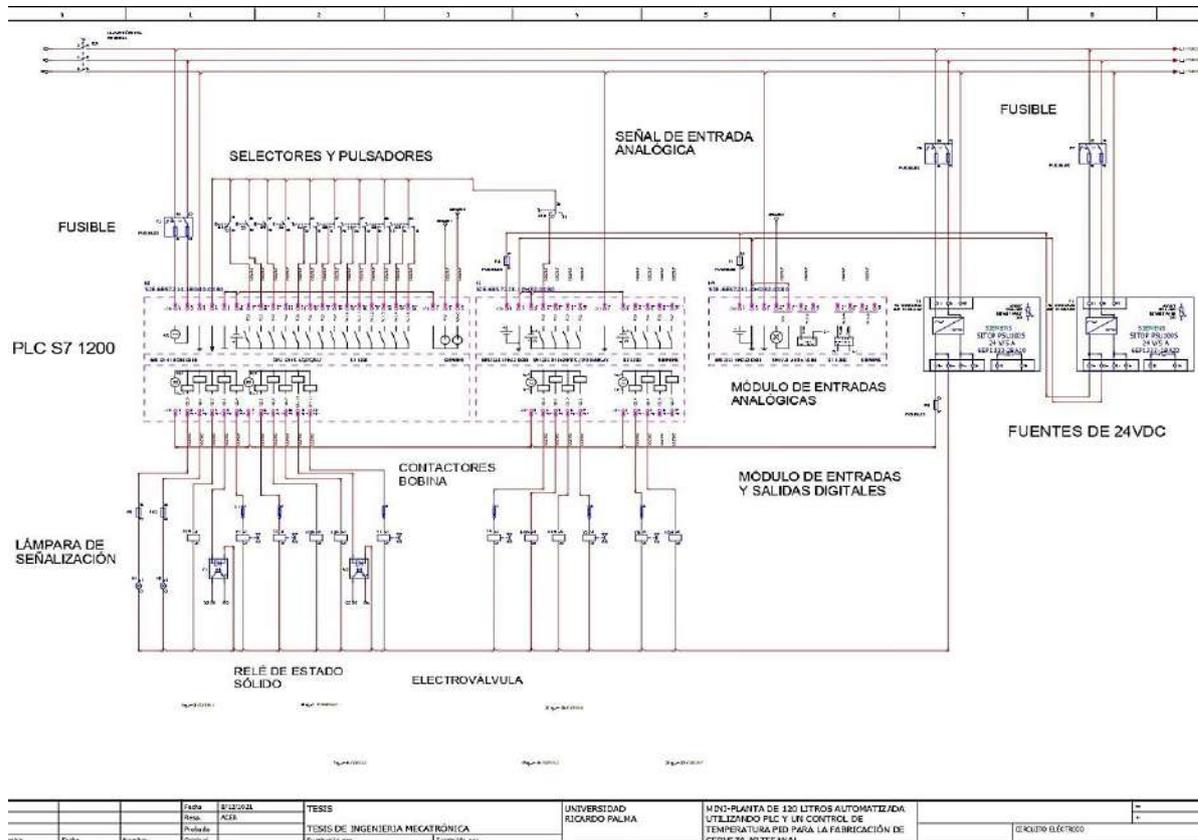


Figura 6. Circuito de control de la mini planta

**Diseño de control Diagrama de flujo general del proceso**

Se elaboró un diagrama de flujo señalando la secuencia de las etapas que implica el proceso de la elaboración de la cerveza artesanal, así como se muestra en la figura 7.

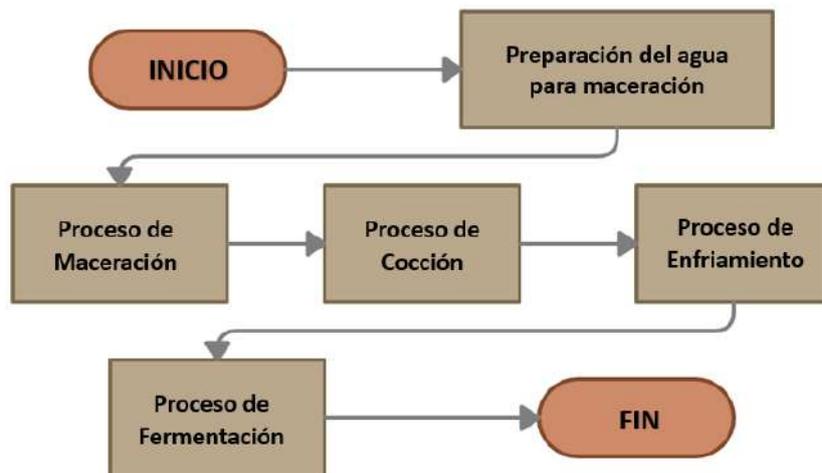


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la cerveza

## Lenguaje Ladder del proceso

Se elaboró la programación de lenguaje Ladder para cada proceso que contiene la elaboración de la cerveza artesanal. La señal que habilita todo el segmento es "comienzo", se enciende el agitador del segundo tanque que tiene como señal "motor2batido", esta se apaga automáticamente cuando la bomba 2 y la electroválvula 2.0 se enciendan, como podemos observar el agitador también se puede encender de manera manual con la señal de "selectmotor2". Luego el tanque se calienta y cuando transcurre un determinado tiempo observaremos la normalización y escalamiento de la señal analógica captada por el sensor de temperatura, tal como se muestra en la figura 8.

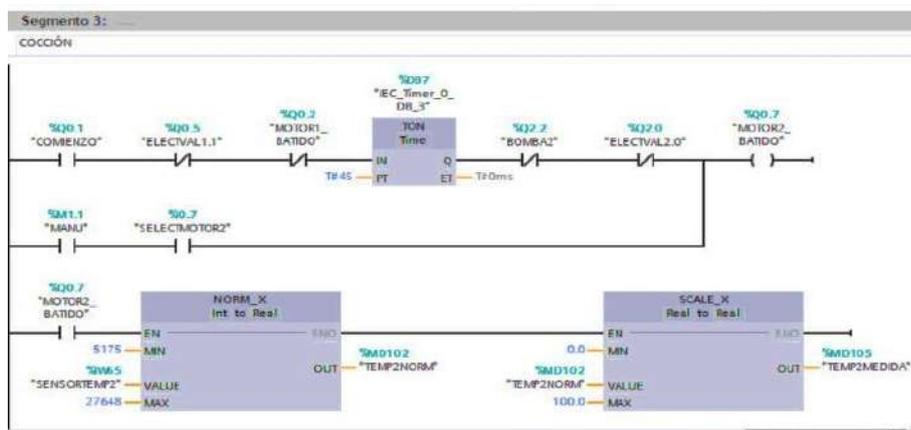


Figura 8. Encendido de agitador en el proceso de cocción

## Modelo dinámico del tanque de calentamiento

Para el desarrollo del calentamiento del ruido por medio de un tanque, lo que se aplica es un balance de energía dinámico. Tomamos como suposición que ciertas propiedades se mantiene constante como densidad, el tanque se encuentra mezclado, calor específico a presión constante ( $C_p$ ), el volumen, entre otras, también la pérdida de calor hacia el exterior es despreciable, esto significa que la temperatura que está dentro del tanque es totalmente uniforme y es del mismo valor a la temperatura que sale, ver figura 9.

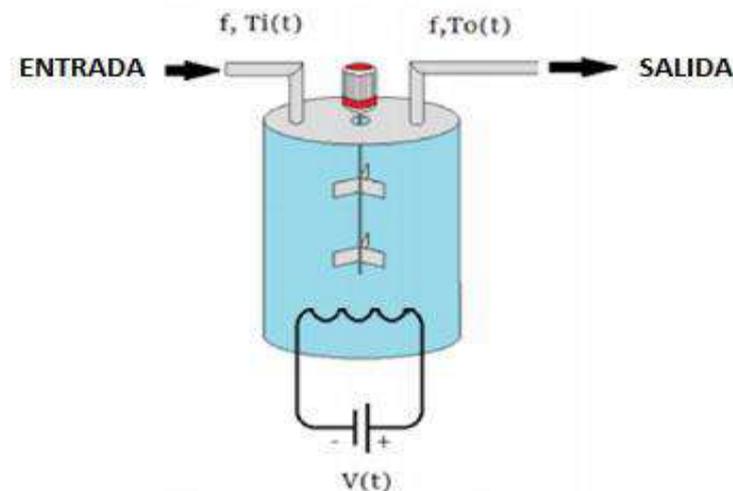


Figura 9. Tanque de mezclado con resistencia eléctrica

Con el programa Matlab se programó la ecuación encontrada y logrando hallar las variables  $K_d$ ,  $K_i$  y  $K_p$  de la planta. Usando la función de transferencia y el comando "PidTune", la cual muestra la señal, da como resultado a  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  y  $K_d=0$ , ver figura 10.

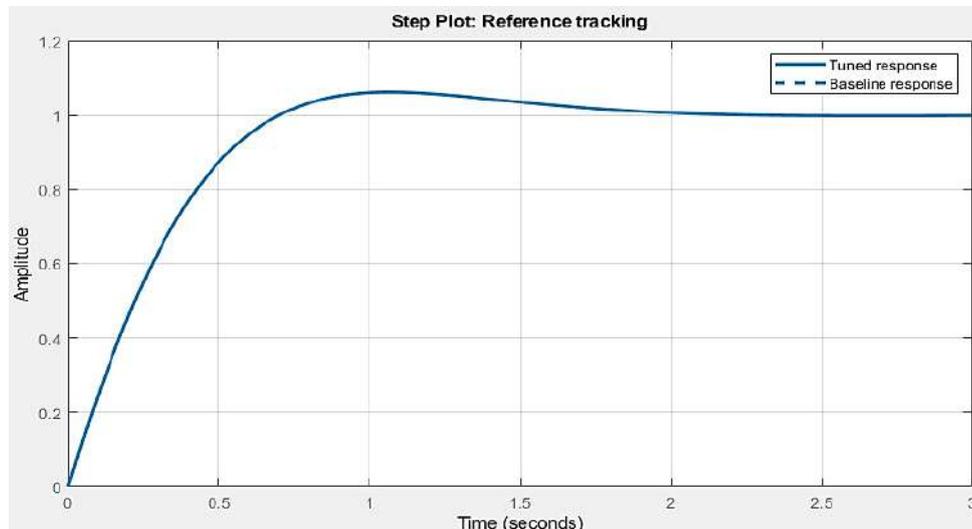


Figura 10. Gráfico de la señal PID

### 3. RESULTADOS

Se detallan los resultados obtenidos en el desarrollo de la mini planta de 120 litros automatizada, tanto en el diseño mecánico, eléctrico y programación con el PLC y HMI.

#### Resultados de tanques

Se realizó el diseño y la simulación en el software SolidWorks para conocer el esfuerzo al cual está sometido, las deformaciones que experimenta y el factor de seguridad. Habiendo realizado el análisis del apoyo de la tapa y el agitador con los tanques y considerando el área determinada, se le aplica una carga de  $147.15\text{ N}$ , como se observa en la figura 11.

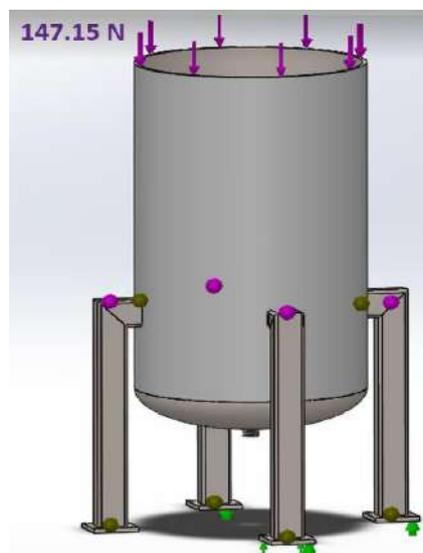


Figura 11. Tanque con las fuerzas aplicadas

Se realizó el análisis de las deformaciones de las tapas de los tanques para conocer qué tanto se alargan en el instante que el motor es posicionado sobre la tapa, como se observa en la figura 12, tiene una deformación mínima de 0 mm y una máxima de 0.000075 mm, siendo una deformación mínima, lo que hace que las dimensiones consideradas sean adecuadas.

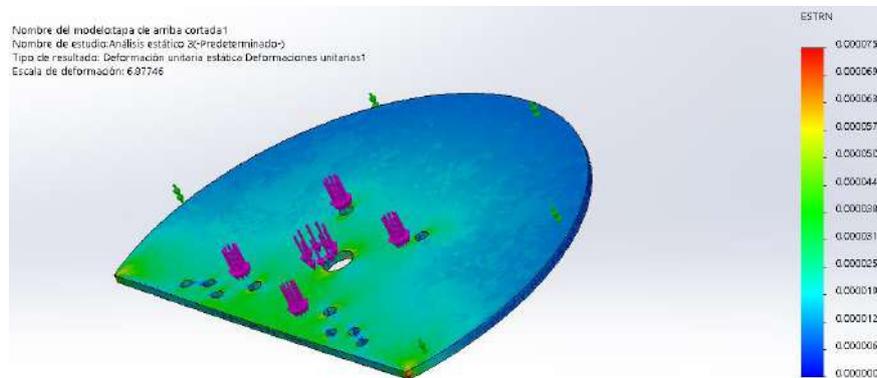


Figura 12. Análisis estático de las deformaciones de los brazos del pallet

## Resultados de la programación en PLC y HMI

Para la simulación del PLC se usó el PLCSIM V16, este es un software de Siemens que permite crear un PLC virtual y con ello se puede simular la programación que se realizó en el TIA Portal, creando una tabla de variables de todo lo que se desea mostrar en el software de simulación.

Una vez establecida la conexión entre el TIA Portal y el PLC virtual (PLCSIM) se puede activar o desactivar las entradas del proceso en la misma programación realizada en el TIA Portal, al iniciar esta función, el aspecto de la programación se muestra como en la figura 13, donde se observa que las entradas o salidas que estén activados se muestran en color verde.

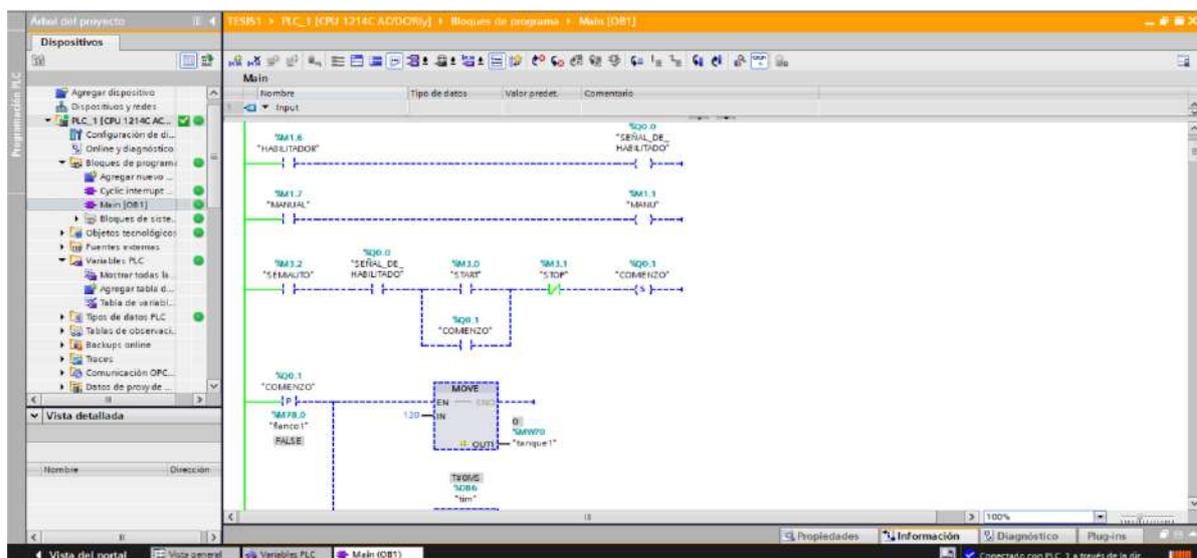


Figura 13. Vista del aspecto de la programación cuando está activada la observación de la simulación del PLCSIM

En la figura 14 se visualiza el funcionamiento, donde se muestran los selectores (Verde sistema habilitado, rojo sistema en funcionamiento manual desactivado y verde sistema en funcionamiento automático), las temperaturas en grados centígrados, verde la activación física de los componentes eléctricos (agitador 1, resistencia 1) y el tanque lleno realizando el primer proceso, maceración.

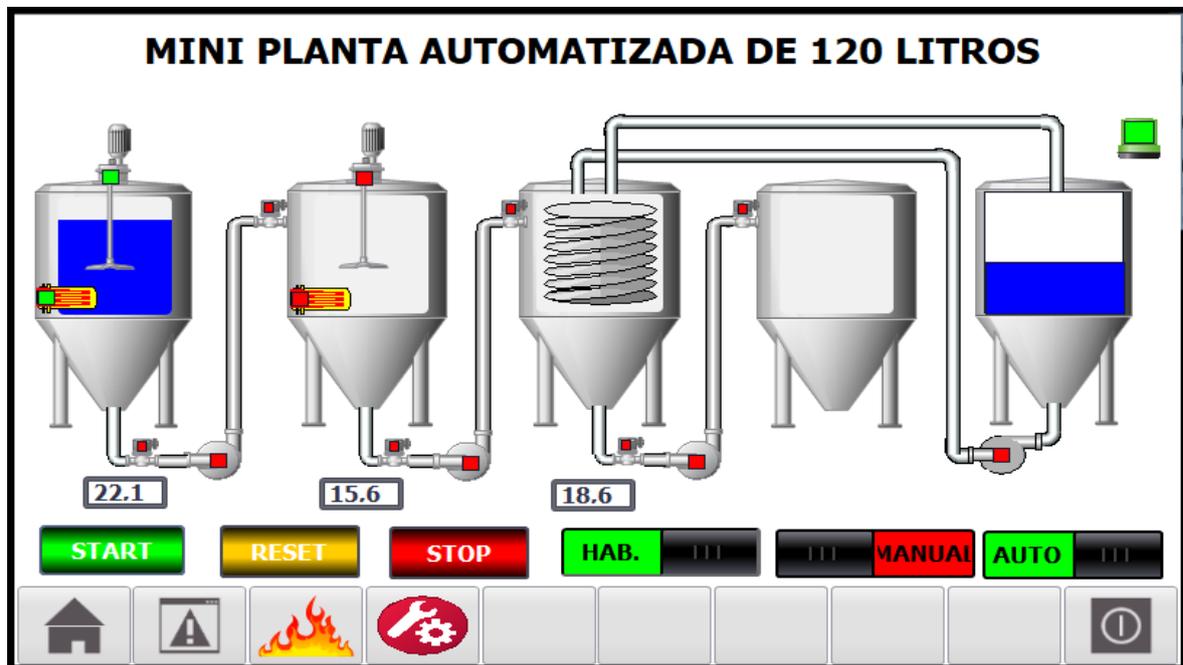


Figura 14. Pantalla principal de SIMATIC HMI

En la figura 15 se detalla estos puntos de la pantalla de temperatura y tiempos del proceso de la elaboración de cerveza:

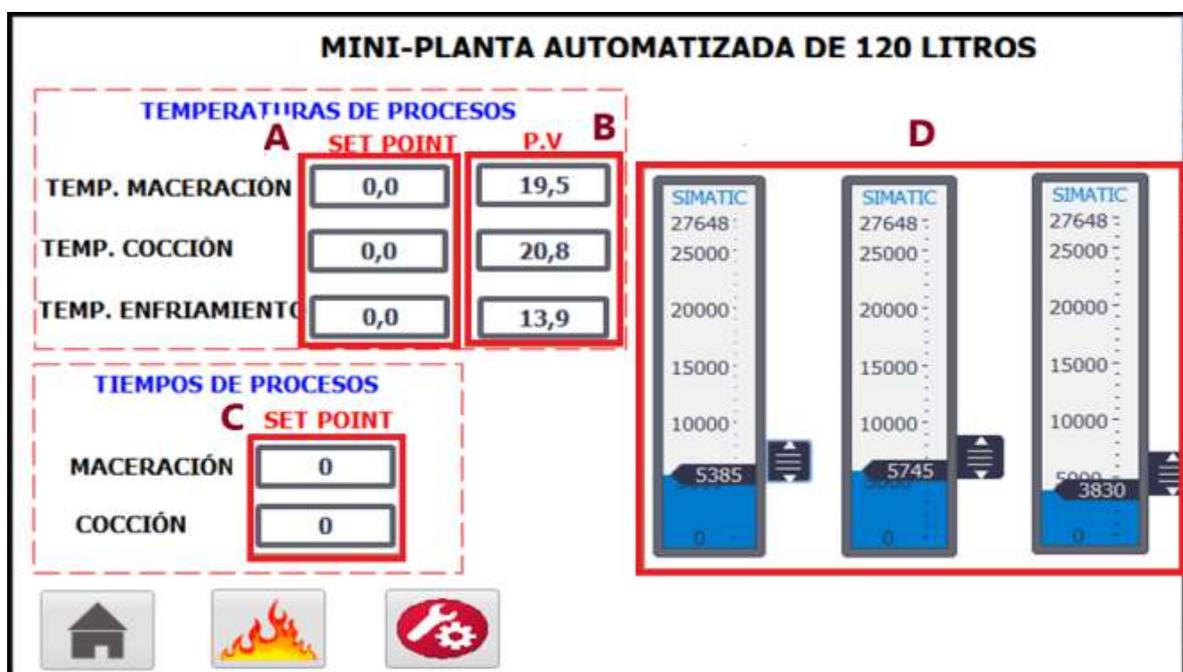


Figura 15. Pantalla de temperatura y tiempos del proceso

### Resultados de la parte eléctrica

Se realizó un análisis de consumo de potencia que tiene nuestra planta, así como se muestra en la tabla 3, se observa las potencias que tiene cada equipo y obtuvo una potencia total de 3473 Wats.

Tabla 3. Cuadro de cargas de los equipos

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Total, de Potencia (W)
Bomba recirculada	4	25	100
Motor 1RF2	2	186.4	373
Resistencia calentadora	2	1500	3000
		<b>TOTAL</b>	<b>3473</b>

Al haber un posible evento de corte energía, se realizó el cálculo de potencia requerido de un grupo electrógeno, de acuerdo con la ecuación 1.

$$kVA = \frac{kW}{FP} \quad (1)$$

Donde:

KVA = Kilovoltiamperios

kW = Kilovatio

FP = Factor de potencia (0.8)

$$KVA = \frac{3.473 \text{ kW}}{0.8} = 4.34 \text{ kVA}$$

Y por seguridad siempre se le aumenta un 20% más a la carga, entonces sería.

$$4.34 + 20\% = 5.2 \text{ kVA}$$

Finalmente, se obtiene un grupo electrógeno que trabaje a 5.2 kVA para soportar toda la energía de la mini-planta cervecera.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se realizó pruebas en SolidWorks de análisis de presión hidrostática para los tanques, análisis de tensión de Von Mises y FDS, dando como resultado presiones positivas sin fugas de presión para los tanques, tensiones mínimas de 0 MPa y máximas de 10.39 MPa con límite de fluencia de 206.8MPa y factor de seguridad de 11, para los soportes, y 0.01 MPa y una máxima de 29.42 MPa con límite de fluencia de 137.9 MPa y factor de seguridad de 4.7 para las tapas de los tanques.
- Se realizó el diseño en Eplan y se hizo un análisis de consumo de potencia con las cargas eléctricas más elevadas, la cuales fueron 4 bombas recirculadas de 25 W, 2 motores 1RF2 de 186.4 W y 2 resistencias calentadoras de 1500 W, dando como resultado 3473 W.
- Se utilizó un PLC S7-1200 energizado a 220 VAC se pudo controlar 06 electroválvulas, 2 relés de estado sólido y 06 contactores, todos los dispositivos eléctricos-electrónicos mencionados cuentan con bobinas de 24VDC, para la simulación se usó el software TIA Portal V16, el cual permitió enlazarnos tanto al HMI con el PLCSIM mediante marcas M0.0.
- Se utilizó el método 02 de Ziegler Nichols, con cual se halló la ecuación de transferencia y con el software Matlab se pudo sintonizar teniendo como resultado  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  y  $K_d=0$ .

#### 5. REFERENCIAS

- Barrientos, A. y Gambao, E. (2014). *Sistemas de Producción Automatizados*. Madrid, España: Editorial Dextra.
- Boris de Mesones (2015). *Proceso de elaboración básico y simplificado*. Madrid, España.
- Karl, A. (2016). *Manual de elaboración de cerveza artesanal*. Arica, Chile
- Karl, J. (2009). *Control PID avanzado*. Madrid, España: Editorial Pearson Educación.
- Marcos, G. (2017) *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales*. Carolina del Norte, Estados Unidos: Editorial Pearson Educación.
- Mateo, E. (2011). *Controlador Logico Programable*. Universidad politécnica salesiana, Quito, Ecuador.
- Terán, M. (2018) *Diseño e implementación de un sistema de automatización para una línea de producción de cerveza artesanal*. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19450>

Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Ricardo Palma.

<sup>1</sup> Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Ricardo Palma.

<sup>1</sup> Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Nacional de Ingeniería, doctor en Ciencias de la Educación, magister en Ciencias de la Educación con mención en Docencia Universitaria y maestría en Ciencias de la Electrónica con mención en Ingeniería Biomédica. Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Ricardo Palma. Senior Member IEEE. Miembro Profesional RAS, EMBS, ComSoc y EduSoc - IEEE. Investigador RENACYT – Nivel VI. <rpalomares@ieee.org>