

# **Análisis y propuesta de mejora energética en edificio comercial**

**Obra Rancagua 474**

Eduardo Pozner Conley

Ingeniería Civil Mecánica

Diciembre 2023

## Índice

<b>1.Resumen Ejecutivo.....</b>	<b>4</b>
<b>2.Introducción .....</b>	<b>7</b>
<b>3.Objetivos .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Objetivo General .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>8</b>
<b>4.Estado del Arte.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Energía fotovoltaica. Generación de energía mediante la luz solar .....</b>	<b>8</b>
<b>4.4 Energía termo solar. Generación de energía por caldera .....</b>	<b>9</b>
<b>5.Metodologías.....</b>	<b>10</b>
<b>6.Desarrollo del proyecto basado en metodología e implementación .....</b>	<b>13</b>
<b>6.1 Primera etapa: Revisión de equipo y maquinaria.....</b>	<b>13</b>
<b>6.1.1 Sistema de ventilación subterránea .....</b>	<b>14</b>
<b>6.1.2 Sistema de ventilación superficial .....</b>	<b>14</b>
<b>6.1.3 Sistema hídrico .....</b>	<b>15</b>
<b>6.1.4 Sistema de ascensores .....</b>	<b>16</b>
<b>6.1.5 Calefacción y refrigeración.....</b>	<b>16</b>
<b>6.1.6 Sistema de iluminación interna .....</b>	<b>17</b>
<b>6.1.7 Estudio habitacional.....</b>	<b>17</b>
<b>6.2 Segunda etapa: Cálculo energético .....</b>	<b>17</b>
<b>6.2.1 Calculo sistema de ventilación subterránea .....</b>	<b>18</b>
<b>6.2.2 Calculo sistema de ventilación superficial.....</b>	<b>20</b>
<b>6.2.3 Calculo sistema hídrico .....</b>	<b>21</b>
<b>6.2.4 Calculo sistema de ascensores.....</b>	<b>23</b>
<b>6.2.5 Calculo calefacción y refrigeración .....</b>	<b>24</b>
<b>6.2.6 Calculo sistema de iluminación interna.....</b>	<b>24</b>
<b>6.2.7 Calculo estudio habitacional.....</b>	<b>25</b>
<b>6.3 Tercera etapa: Tecnología fotovoltaica .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3.1 Generalidades.....</b>	<b>26</b>
<b>6.3.2 Ventajas de la tecnología fotovoltaica .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3.3 Limitaciones.....</b>	<b>26</b>
<b>6.4 Cuarta etapa: Recopilación y propuesta de soluciones .....</b>	<b>27</b>
<b>7.Soluciones propuestas .....</b>	<b>28</b>

<b>7.1 Solución “ON GRID”</b>	28
<b>7.2 Solución “OFF GRID”</b>	29
<b>7.3 Solución “ON GRID” con respaldo</b>	29
<b>7.4 Matriz de riesgo</b>	29
7.4.1 Población polarizada (8)	30
7.4.2 Falta de información de la maquinaria (9)	30
7.4.3 Limitaciones de paneles solares (8)	30
7.4.4 Apoyo empresas externas (12)	30
7.4.5 Errores de funcionamiento (4)	30
<b>8.Evaluación Económica</b>	31
8.1 Costo eléctrico mensual	31
8.2 Costo inversión	31
8.2.1 Propuesta sistema ON-GRID	31
8.2.2 Propuesta sistema ON-GRID con respaldo	31
8.2.3 Propuesta sistema OFF-GRID conectado a la red	32
8.4 Depreciación tecnología	32
8.5 Energía sustentable generada	32
8.6 VAN	33
8.7 TIR	33
<b>9.Medidas de desempeño</b>	34
9.1 Energía generada y energía necesaria para el edificio	34
9.2 Periodo de recuperación de inversión (PRI)	35
9.3 Costo de producción energética	35
9.4 Reducción de emisiones de CO2	36
<b>10.Resultados cualitativos y cuantitativos</b>	36
<b>11.Conclusiones y Discusión</b>	37
<b>12.Referencias</b>	38
<b>13.Anexos</b>	38

# 1. Resumen Ejecutivo

Este informe se centra en la recopilación de análisis electromecánicos de la maquinaria instalada en un edificio en construcción tipo aparthotel en la comuna de Providencia. Se examina el funcionamiento de la maquinaria, las complicaciones asociadas y las dificultades que contribuyen al alto consumo de energía eléctrica en la edificación. Además, se realiza una evaluación exhaustiva de los puntos críticos del sistema eléctrico, destacando las áreas con mayor demanda energética.

El objetivo principal busca plantear una solución de mejora energética al sistema eléctrico del edificio, con el uso de paneles solares fotovoltaicos que reduzcan la factura eléctrica.

Se utiliza una metodología de 4 fases del proyecto, buscando un sistema ordenado y facilitado para su realización. Se genera un análisis exhaustivo del funcionamiento de la obra y su maquinaria. Se presentan los cálculos realizados para comprender el rendimiento de cada maquinaria, respaldados por tablas específicas de funcionamiento. Se incluyen evaluaciones detalladas de cada máquina y cómo impactan en el sistema correspondiente, junto con un análisis de la criticidad del sistema en el contexto global del edificio. Comienza el análisis de tecnología fotovoltaica y sus requerimientos, seguido de el planteo de las soluciones y la discusión de resultados obtenidos.

En respuesta a las problemáticas identificadas, se proponen 3 soluciones con el uso de los paneles solares fotovoltaicos. Estas soluciones buscan no solo proporcionar una fuente de energía alterna a la red pública, sino también reducir significativamente los costos asociados.

Cada solución planteada se analiza en términos eléctricos, financieros y mecánicos específicos para la empresa Acar.

Finalmente se consigue plantear las soluciones reduciendo en un 7% el gasto eléctrico mensual del edificio. Se discute la factibilidad del proyecto, respaldada por métricas específicas, y se presentan alternativas de implementación para la consideración del Directorio. Se concluye con las propuestas como factibles en un plazo de 6 años del PRI y se entrega el informe de las especificaciones de las mismas para su implementación. Este informe proporciona una base sólida para la toma de decisiones informada sobre la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas en un edificio aparthotel.

The present report addresses the compilation of electrical and mechanical analyses of the machinery installed in a building under construction, specifically an aparthotel located in the Providencia commune. It delves into the operation of the machinery, complications, and challenges associated with high electricity consumption in the building. Additionally, a rigorous evaluation of the critical points in the electrical system is presented, highlighting areas with the highest energy requirements for proper operation.

The calculations performed for understanding each piece of machinery are detailed, along with the respective performance tables. The evaluations conducted on each piece of machinery and how they impact the corresponding system are also thoroughly discussed. The critical analysis of the observed system is extended to cover the entire building.

Furthermore, the report explores the proposal of multiple solutions involving photovoltaic solar technology to establish an alternative energy source independent of the public grid, ultimately reducing monetary expenses.

Each proposed solution is approached with a specific electrical, financial, and mechanical analysis tailored to the Acar company, lacking an exact replication of the project due to the specific energy analysis conducted for this case.

Finally, the feasibility of implementing the project is discussed with relevant metrics, and alternative implementation options are presented for the Board's consideration.



*Imagen 1: Renderizado de la obra*

*Origen: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=sanH7T590gI>*

## 2.Introducción

El proyecto es realizado en una obra de la empresa Acar, un holding con servicio de arriendo, transporte y logística de una diversa flota de grúas, horquillas, contenedores y maquinaria industrial con más de 30 años de experiencia en el mercado. Además de esto, en el holding Acar se encuentran proyectos de construcción, con operaciones en puentes, edificaciones y otras obras como la obra Rancagua 474, la cual es la una edificación de 8 pisos superiores y 9 pisos subterráneos que se encuentra en proceso de construcción desde el 2018. Esta obra se analizará en el transcurso de este proyecto, para aliviar el problema de esta construcción.

La problemática encontrada en este proyecto es el gasto monetario adjunto al consumo eléctrico de la obra analizada. Esto por ser una edificación sin usar gases para la calefacción interna, además de tener 9 pisos subterráneos, que añaden un consumo mayor al promedio por edificaciones similares en la zona. Este problema genera un impacto económico considerable en la empresa, por lo que su buena gestión generará ganancias mayores, mejorando la rentabilidad del edificio.

El proyecto busca reducir el consumo eléctrico de la red pública mediante el uso de energías renovables, de carácter solar fotovoltaica, generando ingresos a largo plazo por la generación de energía de menor costo.

La implementación del proyecto se realizará con análisis de maquinaria de los sistemas insertos en la obra, usando herramientas para gestionar los sistemas con requerimientos eléctricos, análisis de sus funciones y especificaciones, búsqueda de información necesaria mediante análisis de mecánica de los fluidos con análisis mecánico y eléctrico de la tecnología fotovoltaica.

## 3.Objetivos

### 3.1 Objetivo General

El objetivo general del proyecto es poder desarrollar una propuesta de sistema de eléctrico alternativo para dar energía al edificio, disminuyendo el gasto energético y monetario

### 3.2 Objetivos específicos

- Hacer un análisis aproximado ocupacional de edificios de la zona
- Analizar y recopilar información de la maquinaria inmersa en el edificio
- Realizar los cálculos mecánicos como energéticos de la maquinaria para establecer los requerimientos del sistema
- Determinar puntos críticos y necesidades del edificio
- Estudiar mecánicamente la tecnología fotovoltaica
- Estudiar el sistema fotovoltaico para su planteo
- Reducir liberación de CO2 por uso de energía no sustentable

## 4.Estado del Arte

### 4.1 Energía fotovoltaica. Generación de energía mediante la luz solar

La energía solar fotovoltaica es la más utilizada como sustento energético mediante energías renovable en hogares de 300 o 400 m<sup>2</sup> hasta establecimientos públicos, zonas empresariales, o los mayores proyectos a nivel industrial y plantas solares. Por tamaño similar al proyecto en cuestión se utilizó el proyecto solar fotovoltaico de Teletón Santiago, donde por medio de 270 paneles solares de 260Wp, la empresa Tritec-intervento SPA logró generar 122.499 kWh anuales ahorrando más de 44 toneladas de CO2 anuales y un ahorro de 6.970.000 CLP en el año 2015. Esta solución depende de paneles con una vida útil de 25 años base, los cuales luego de este periodo solo reducen su eficiencia en un 15%, sin requerir reemplazo, logrando así una eficiencia de largo plazo (1).



## **4.2 Eficiencia energética en el edificio. Reducción de gastos energéticos**

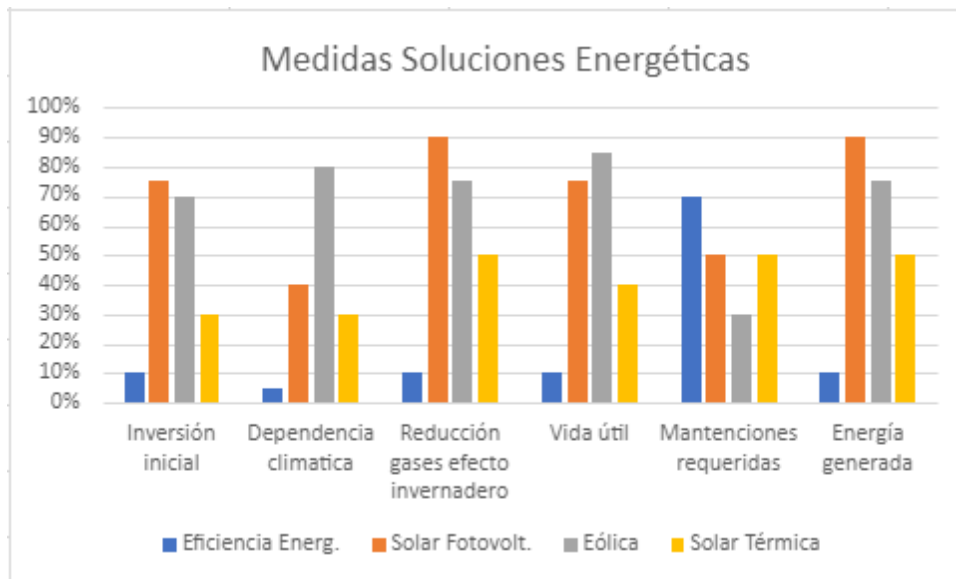
Esta metodología busca controlar y conocer los consumos energéticos del edificio para poder recurrir a acciones o recursos como cambios en la iluminación, maquinaria o constante mantención de estos para reducir los gastos innecesarios del sistema eléctrico. Un proyecto de dos estudiantes de la Universidad de Costa Rica para reducir y controlar el gasto energético en una construcción de Santiago de Chile y otra en Costa Rica donde se obtuvo el consumo innecesario de recursos y reducirlo a futuro, generando cambios de 5 a 7 % de consumo eléctrico dependiendo de la inversión optada por la empresa, generando cambios a corto plazo por tener un monitoreo constante del consumo eléctrico. Esta solución busca tener una inversión baja sin requerimientos externos a la empresa con una tasa de cambio menor al resto de las soluciones (2).

## **4.3 Energía Eólica. Generación de energía por corrientes de aire.**

Esta tecnología se conoce por usar en plantas más grandes con instalaciones que requieren planicies y requerimientos específicos, pero se ha logrado proyectos en viviendas privadas con turbinas eólicas sin requerimientos restringidos como las plantas eólicas. En Oklahoma, Estados Unidos, se logró la instalación de 18 turbinas eólicas verticales con una medida de 5,7 metros de altura y 1,2 metros de diámetro, que requieren velocidades de vientos constantes para su óptimo funcionamiento, a su vez lograron conseguir 4,5 kW de potencia por turbina logrando una reducción notable en el consumo eléctrico de la edificación (3). Esta solución contiene grandes inversiones iniciales reducciones notables al consumo eléctrico además de lograr una vida útil de 30 años con su óptimo funcionamiento

## **4.4 Energía termo solar. Generación de energía por caldera**

La energía solar térmica utiliza radiación solar por medio de paneles solares térmicos para generar calor y transferirlo para su uso como calefacción y posiblemente transformación a energía eléctrica generando menos eficiencia energética. Una instalación de este tipo de tecnología está en Barcelona, España en donde por medio de 30 captadores, intercambiadores y acumuladores solares, produce una energía de 48.000 kWh, ahorrando 16.847 kg/año de CO<sub>2</sub>. Esta tecnología tiene menor impacto en la generación energética y tiene menor vida útil rondando los 10 años, pero a su vez su inversión inicial es mucho menor al resto de las soluciones (4).



*Gráfico 1: Comparación soluciones energéticas*

*Origen: Elaboración propia.*

## 5. Metodologías

El proyecto se realizó de manera lineal con metodología de cascada en un plan de 4 etapas planteadas en los periodos correspondientes siguiendo un orden de los mismos de manera escalonada. Estos periodos fueron definidos por las necesidades y dificultades de cada sección de trabajo para un trabajo mejor definido y estructurado.

### 5.1 Primera etapa

La primera etapa del proyecto es agosto, donde se generó una revisión y análisis de la maquinaria utilizada en el edificio, enfocándose en la necesidad y funcionalidad de estas para el gasto energético que llevan consigo. En esta etapa se logra analizar las distintas áreas de interés de la obra en función con un planteo general de las dimensiones del recinto y un análisis por medio de planos de dibujo dwg. Además, se recoge la mayor cantidad de información mecánica y energética de la maquinaria, facilitando los cálculos de estas etapas.

## 5.2 Segunda etapa

La segunda etapa consta de cálculo energético del uso total del edificio, separado por las distintas secciones y zonas del edificio. Se busca plantear las situaciones futuras de cada uno de los sistemas de iluminación, mecánica y energética del sistema hídrico, ventilación, ascensores, domésticos, calefacción y refrigeración.

Los cálculos se hacen con supuestos comparativos por el nivel de uso futuro del apartahotel según la diversidad poblacional de las edificaciones similares en tamaño y situación comercial cerca de la obra.

Luego de generar los cálculos mecánicos de las necesidades poblacionales del edificio por parte de la maquinaria se traducen a necesidades energéticas de los mismos, generando el planteo final de necesidad eléctrica.

El 40 % del proyecto se procesa en septiembre y octubre.

## 5.3 Tercera etapa

La tercera etapa se plantean las soluciones de tecnología fotovoltaica, buscando principalmente conocer el funcionamiento de esta tecnología y las necesidades que conlleva la misma. Se genera un estudio de mercado para la cotización y revisión de las posibilidades del edificio para lograr una visión concisa de las elecciones que deben tomarse al momento del planteo de solución.

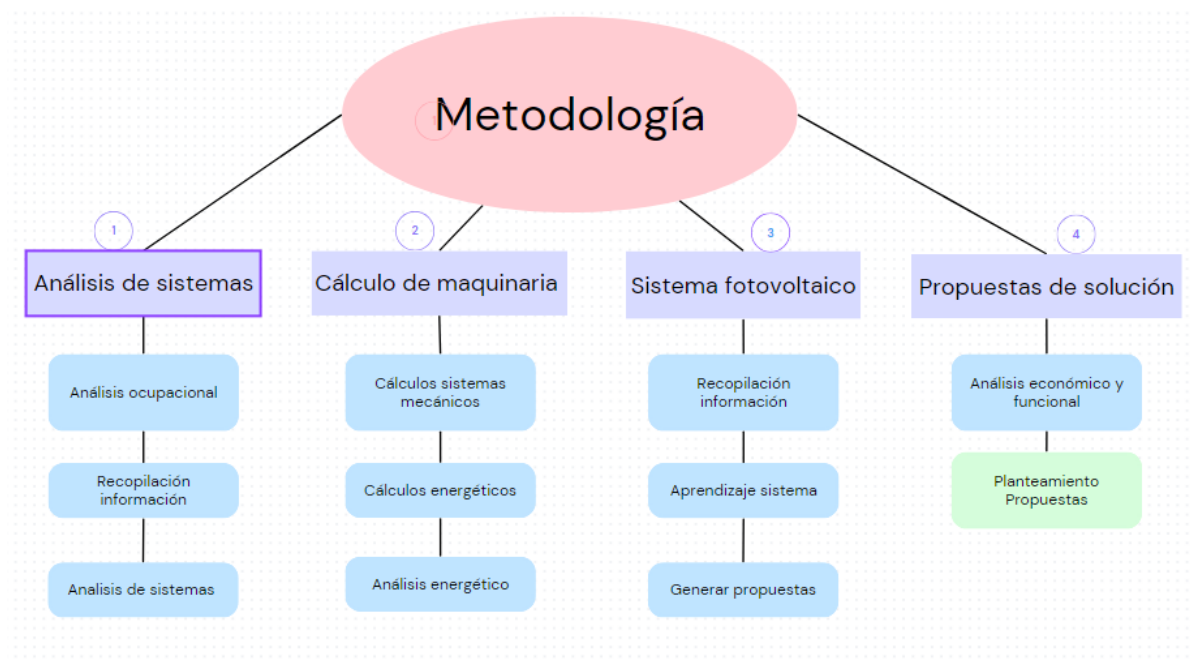
Se busca conseguir una empresa externa que decidirá un análisis de mercado, con el que plantear distintas soluciones fotovoltaicas para su revisión económica. Este periodo se divide en el mes de octubre y noviembre con un 20% del tiempo del proyecto

## 5.4 Cuarta etapa

La última etapa del proceso dicta la recopilación de la información conseguida a través de los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Se generará en el periodo final de noviembre e inicios de diciembre, costando el 15% del tiempo de proyecto. Se busca analizar la información del consumo energético, las necesidades y posibilidades de la tecnología fotovoltaica y la comparación de las distintas propuestas generadas para terminar la evaluación económica de cada una.

Esta etapa definirá la eficiencia energética del proyecto y las posibilidades de mejora que existan en el mismo, para generar un planteo total de la edificación, dejando la decisión de realizar las propuestas en posesión de la empresa para su futura instalación.

## 5.5 Diagrama de flujo



*Diagrama 1: Diagrama de flujo metodología*

*Origen: Elaboración propia*

El diagrama de flujo muestra de izquierda a derecha el orden de las fases de acción del proyecto, con sus respectivas actividades principales en cada uno.

## 6.Desarrollo del proyecto basado en metodología e implementación

### 6.1 Primera etapa: Revisión de equipo y maquinaria.

El proyecto inició con el análisis ocupacional del hotelaría en Providencia, utilizado para los cálculos energéticos de la maquinaria. Luego se comenzó la revisión del equipo y maquinaria del edificio. Se tomo en consideración todas las áreas que conlleven un consumo eléctrico para su funcionamiento, para luego ser divididos en secciones calificadas por la necesidad energética de esta. Así, se encontraron 6 áreas de interés para el cálculo de consumo eléctrico.



Imagen 2: Vista lateral edificio Rancagua 474

Origen: Planos obra Rancagua 474

La imagen anterior deja ver la distribución del edificio donde la línea de color rosado muestra la separación del subsuelo, de los pisos superiores.

### 6.1.1 Sistema de ventilación subterránea

Este sistema requerido en aparcamientos subterráneos se ocasiona la retención de aire contaminado por dióxido de carbono, entre otros fluidos dañinos para la salud, por lo que se necesita una extracción por ventilación forzada. Esta busca extraer el aire contaminado utilizando ventiladores helicoidales de carácter industrial para la extracción y la inyección de los distintos fluidos necesarios.

En el edificio existen 3 tipos de ventiladores. El primero se encuentra en la zona noreste del perímetro, el cual se encarga de la inyección de aire a los subterráneos por medio de 1 ventilador helicoidal en cada piso.

El segundo en segundo se encuentra en las zonas sur y oeste de los subterráneos. Hay 4 de estos ventiladores por subterráneo para extraer aire mediante ventilación constante a menor potencia.

El último ventilador está ubicado en la zona oeste del edificio, el cual funciona como extractor de emergencia de los subterráneos. Este tiene una potencia mayor los segundos mencionados y solo entra en funcionamiento en un momento de ingreso extremo de CO<sub>2</sub> al sistema de extracción, para lograr disipar a mayor ritmo el aire contaminado. (5)

### 6.1.2 Sistema de ventilación superficial

El sistema superficial de ventilación define la ventilación interna del primer al octavo piso. Este se divide en 2 tipos, la ventilación de espacios comunes, y la ventilación localizada de las habitaciones de los pisos superiores.

La ventilación de espacios comunes consta de 1 equipo de aire acondicionado encontrado en el centro de cada piso para un flujo constante de aire. Este tiene una capacidad de enfriamiento de 7,1 kW y de calefacción de 8,0 kW, un consumo constante de 255 W y una corriente de 208 a 240 V.

El sistema de ventilación habitacional se divide en 2 tipos. El primero existe en 16 departamentos por piso con un flujo de aire de 680m<sup>3</sup>/h, una capacidad de 4kW de refrigeración y 6,8 de calefacción. Y el segundo se encuentra en 4 habitaciones por piso con un volumen de flujo de aire de 1020 m<sup>3</sup>/h, 5,8kW de capacidad de refrigeración y 9,8 de capacidad de calefacción.

### 6.1.3 Sistema hídrico

El sistema de agua potable del edificio funciona a base de extracción por medio de bombas de napas subterráneas para la inyección del líquido en 4 estanques ubicados en el piso -9. Las bombas de extracción de napas subterráneas no son incluidas en el cálculo energético al no ser relevantes debido al régimen de operación a diferencia de las bombas de uso diario.

Luego existen 2 sistemas de bombeo de agua, el sistema diario y el sistema de emergencia. Al igual que en los casos anteriores no se toma en cuenta el sistema de emergencia al buscar un cálculo promedio para el consumo eléctrico diario.

El líquido de estos estanques luego es extraído hacia 6 bombas de agua con un caudal de  $20\text{m}^3/\text{h}$ , para la inyección de esta a las cañerías del edificio. De estas bombas, tres son LVR20-5 de 7,5 HP (horse power) y tres LVR20-8 de 15 HP, son las encargadas de la propulsión del agua en sistema de agua potable en la totalidad del edificio.



*Imagen 3: bombas de agua*

*Origen: Sala de máquinas de obra Rancagua.*

#### 6.1.4 Sistema de ascensores

En el edificio se encuentran 4 ascensores electromecánicos con sala de máquinas dúplex S830 de 1000 kg, donde cada uno requiere de un motor para el funcionamiento de este y a su vez cada uno utiliza otro motor para el suministro de iluminación.

Al ser los ascensores de carácter electromagnético funcionan por un sistema tracción por polea con el uso de un motor eléctrico de 3 fases, 50 Hz y 380 V de carga trifásica, generando una mayor carga eléctrica requerida.

#### 6.1.5 Calefacción y refrigeración

El sistema de calefacción y refrigeración del sistema de ventilación y de agua potable van unidos a 4 contenedores ubicados en la azotea del edificio, los cuales cumplen ambas funciones. Con un sistema de calderas y refrigeración de agua se consigue la temperatura para el uso diario del hotel y la ventilación superior de la obra.



*Imagen4: Calderas del edificio*

*Origen: Azotea de obra Rancagua*



### 6.1.6 Sistema de iluminación interna

En el caso del análisis no se considera el sistema de iluminación externa al estar completamente cargado eléctricamente con paneles solares fotovoltaicos menores al de las propuestas mostradas.

Se seccionó el sistema de iluminación en 2 partes para generar un orden en los cálculos. Estos son la parte subterránea del edificio, y las zonas comerciales o comunes de los pisos superiores.

Por el decreto 51 capítulo 3 del reglamento de alumbrado de uso público se consideran todas las zonas comunes y comerciales del subterráneo destinado a parking en seguir el orden de 50 lx/m<sup>2</sup> aproximadamente la mínima cantidad, y 200 lx/m<sup>2</sup> la máxima cantidad.

De esta manera, se ve el funcionamiento de un solo foco de iluminación del parking para calcular la cantidad de estos en cada piso y generar un aproximado al consumo de estos.

Las zonas de uso comercial y común dentro de los pisos superiores se rigen por el decreto 194 de reglamento de hoteles y establecimientos similares, donde estipula que estas zonas comunes deben tener el mínimo de iluminación para la circulación, tomando el mínimo de 50 lx para una segura circulación.

### 6.1.7 Estudio habitacional

El estudio habitacional busca generar un aproximado del consumo mensual de los departamentos en los pisos superiores, analizando todos electrodomésticos, iluminación u otro elemento que incremente el consumo eléctrico de cada departamento. Para esto se analiza un promedio de del consumo por diferencia poblacional, para luego ser atribuido a los 120 departamentos inscritos en el edificio.

## 6.2 Segunda etapa: Cálculo energético

Luego del análisis generado en cada sistema del edificio se inicia la fase de cálculo, donde recopila la información previa de los sistemas y analiza las necesidades de cada uno, los requerimientos mecánicos que conlleva cada uno y las dependencias energéticas vinculadas a cada sistema.

Todos los cálculos fueron realizados con la necesidad poblacional media calculada del 40% por el promedio ocupacional de hotelería en la cercanía del edificio.

### 6.2.1 Calculo sistema de ventilación subterránea

El sistema de ventilación subterránea contiene problemas para el cálculo energético, donde uno de estos es la potencia necesaria para un consumo de energía suficiente para el funcionamiento mecánico de la maquinaria. Y otro problema es la falta de información conseguida para el análisis de este. Para lograr conseguir un cálculo preciso se necesita analizar el caudal de fluido necesario para un flujo de aire puro mínimo aceptable por el ministerio de salud, el cual puede verse en la tabla siguiente para aparcamientos.

Renovación del aire en locales habitados	Renovaciones/hora N
Catedrales	0,5
Iglesias modernas (techos bajos)	1 - 2
Escuelas, aulas	2 - 3
Oficinas de Bancos	3 - 4
Cantinas (de fábricas o militares)	4 - 6
Hospitales	5 - 6
Oficinas generales	5 - 6
Bar del hotel	5 - 8
Restaurantes lujosos (espaciosos)	5 - 6
Laboratorios (con campanas localizadas)	6 - 8
Talleres de mecanizado	5 - 10
Tabernas (con cubas presentes)	10 - 12
Fábricas en general	5 - 10
Salas de juntas	5 - 8
Aparcamientos	6 - 8

*Tabla 2: renovaciones necesarias para calidad de aire*

*Origen: Requerimientos de renovaciones, S&P Soler Palau.*

De las tablas anteriores se muestra una necesidad de 6 a 8 renovaciones por hora, las cuales se generan 16 por hora en la obra, con el conocimiento del caudal máximo del extractor de 7.590 m<sup>3</sup>/h, se busca el volumen de cada nivel. Teniendo 40,25 metros de largo y 36,55 de ancho, y 2,2 metros de

altura, el volumen de cada piso es de 3.236,5. y sabiendo la eficiencia de los motores de 78,2% y potencia máxima de 641 W, se puede calcular la potencia requerida:

$$\frac{\text{Volumen nivel}}{\text{Caudal extractor}} \cdot 100\% = \% \text{ de uso del extractor}$$

Fórmula 1

$$\frac{\text{Potencia máxima}}{\text{eficiencia del motor}} \cdot \frac{\% \text{ uso del extractor}}{100} = \text{Potencia } \frac{\text{requerida}}{\text{hora de uso}}$$

Fórmula 2

$$\frac{3236 \text{ m}^3}{7590 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}} \cdot 100 = \frac{42.64\%}{\text{hora}}$$

Fórmula 3

$$\frac{641W}{0,782} \cdot \frac{42,64h}{100} = 0,35 \frac{kW}{\text{hora}}$$

Fórmula 4

De esta forma se tiene el consumo de un extractor por cada ciclo de limpieza. Luego este consumo se realiza 2 veces por hora por requerimientos del ministerio de salud, y a su vez se calcula para los 8 pisos subterráneos 8 horas diarias, generando un consumo de 44,8kWh diario.

Luego el sistema de inyección funciona con ventiladores del mismo tipo, pero con un motor de mayor capacidad, por lo que los cálculos necesarios son repetidos, con las diferencias en potencia máxima de 809W y un caudal máximo de 9.140 m<sup>3</sup>/h, generando el siguiente calculo

$$\frac{3.236 \text{ m}^3}{9.140 \frac{\text{m}^3}{h}} \cdot 100 = \frac{35,4\%}{\text{hora}}$$

Fórmula 5

$$\frac{809W}{0,782} \cdot \frac{35,4h}{100} = \frac{0,36kW}{hora}$$

Fórmula 6

De esta forma se vuelve a calcular con los 8 pisos subterráneos, 8 horas diarias y 2,5 inyecciones por hora por medida de salud, mostrando 57,6 kWh de consumo diario.

Finalmente, el sistema de emergencia no se considera al ser este estudio con objetivo diario y no busca el límite de los extractores, terminando el cálculo de ventilación en 102,4 kWh diarios o 3,07 MWh mensuales. (6) (7) (8)

### 6.2.2 Calculo sistema de ventilación superficial

El sistema de ventilación superior del edificio se encuentra más simplificado que el sistema de subsuelo, dado que no cambia por irregularidades poblacionales. Este funciona constantemente a un ritmo bajo con un flujo constante de aire. Se encuentra 1 por piso desde el -1 hasta el piso 7, tomando 8 equipos con un consumo lineal de 255W. Al ser zonas comunes no se reduce el consumo por la dependencia de huéspedes del edificio, pero por las características termoaislantes del edificio no es necesario un consumo total de estos equipos, generando así 0,77 kW/h en todos los pisos. Este consumo genera finalmente 184,8 kW/h mensuales para un flujo constante de energía por 8 horas de uso diario.

En cada departamento se encuentra otro sistema de ventilación con acondicionado de aire, 16 equipos por piso con caudal de 680 m<sup>3</sup>/h, y 4 equipos de 1020 m<sup>3</sup>/h de caudal. Cada equipo rinde con potencias máximas de calefacción y refrigeración, al funcionar como sistema de acondicionado de aire se genera un uso de 70% al no forzar sobre los 23 grados ni menor a 19. Estos límites son definidos por las características termoaislantes del edificio. Luego se considera el 40% de población, y un promedio de equipos con consumo de 5 kWh, en los 120 departamentos empleados con 5 horas de uso diario, logrando un resultado de 36 MWh mensual. (9)

### 6.2.3 Calculo sistema hídrico

El sistema de agua potable como fue mencionado anteriormente funciona a base de napas subterráneas, las cuales son rellenadas cada cierto periodo de tiempo con bombas para su extracción. Estas no son incluidas en el cálculo energético al desconocer las especificaciones de las mismas y al generar un consumo de valor casi nulo al funcionar periódicamente y no diariamente.

Luego existen 2 sistemas de bombeo de agua, el sistema diario y el sistema de emergencia. Al igual que en los casos anteriores no se toma en cuenta el sistema de emergencia al buscar un cálculo promedio para el consumo eléctrico diario.

El sistema de agua funciona con 2 tipos de bombas, 3 bombas de 5,5kW de potencia y 3 de 11 kW de potencia. Manejando un caudal 20 m<sup>3</sup>/h, las bombas mantienen una presión de entrada de 60 m y 96m. Se mantiene el uso diario de las 3 bombas de menor potencia, mientras que se activan los 3 restantes en caso de requerir una presión mayor.

De esta manera se requiere conocer el caudal necesario por las bombas en paralelo para el funcionamiento medio del 40% del edificio, sabiendo que el caudal total está definido por la siguiente formula.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Fórmula 7

Donde:

- $Q_t$  = Caudal total ejercido por todas las bombas
- $Q_{1,2,3,4,5,6}$  = Caudal generado por las bombas respectivas

MODEL	POWER[kW]	Q[m <sup>3</sup> /h]	4	8	12	16	20	24	28
20-1	1.1	H(m)	13	13	13	12	10.5	9.5	6.5
20-2	2.2		28	28	27	25	22.5	19	15
20-3	4.0		43	43	42	39	36	30	23
20-4	5.5		58	57	56	53	48	41	32
20-5	5.5		73	72	70	66	60	52	40
20-6	7.5		87	83	84	80	72	62	49
20-7	7.5		102	100	97	93	84	72	57
20-8	11.0		117	116	113	107	96	85	67
20-10	11.0		146	144	140	132	120	105	83
20-12	15.0		175	174	169	161	144	127	101
20-14	15.0		204	202	197	187	168	147	117
20-17	18.5		249	247	241	229	205	181	144

Tabla 3: Caudal y potencia de las bombas por salidas de estas

Origen: Ficha técnica, Koslan .

Luego al conocer por la tabla anterior que todas las bombas comparten el mismo caudal se requiere conocer la necesidad de los 6 pisos habitacionales y el piso de clínica, donde por medio del cálculo por tabla del consumo promedio de caudal instantáneo por piso se genera un aproximado de este.

**Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato**

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

*Tabla 4: caudal instantáneo promedio domestico*

*Origen: Ingenieros industriales.com.*

Con la tabla se consigue un promedio de 0,7 l/s de caudal instantáneo por departamento, logrando un promedio de 39,2 l/s de caudal instantáneo. Luego se busca el coeficiente de simultaneidad de caudal instalado para el consumo esperado.

$$K_v = \frac{1}{\sqrt{n-1}} = 0.333$$

Fórmula 8

Donde:

- $K_v$  = Coeficiente de simultaneidad
- $N$  = Número de aparatos promedio por vivienda, en este caso se consideran 8

Con esto se puede calcular el caudal simultaneo máximo de cada vivienda, por medio de la formula:

$$Q_{max} = K_v \cdot Q_i$$

Fórmula 9

$$Q_{max} = K_v \cdot Q_i = 0,333 \cdot 0,7 \frac{L}{s} = 0, 233 \frac{L}{s}$$

Fórmula 10

Donde:

- $Q_{max}$  = caudal máximo simultaneo
- $K_v$  = coeficiente de simultaneidad de la vivienda
- $Q_i$  =caudal instalado por vivienda

De esto se puede conseguir un caudal simultáneo máximo de 0,233 l/s por vivienda, el cual generado por todos los departamentos consume 6,5 l/s

Finalmente se conoce el consumo promedio de agua potable por segundo logrando ver que todas las instalaciones del edificio no superan el consumo de 2 bombas de agua, las cuales requieren de un consumo diario de 184 kWh por periodos de 8 horas de consumo diario. Generando 5,52 MWh mensuales. (10)

#### 6.2.4 Calculo sistema de ascensores

El sistema de ascensores es electromecánico, que muestra que su funcionamiento es electrónico. Por esto se debe analizar los motores necesarios para su funcionamiento para el cálculo energético.

Existen 4 ascensores con 4 motores que alimentan el funcionamiento mecánico de cada ascensor y 4 motores alimentando la iluminación y paneles de control de los ascensores.

El sistema mecánico del ascensor necesita un suministro eléctrico por un motor AC 380 V de 50 Hz de 3 fases, requiriendo 11 kW de potencia máxima para un peso máximo de 1000 kg. El promedio, los ascensores se usan por menos del peso máximo, además del flujo del 40% esperado. Esto considera un funcionamiento promedio de 2 ascensores utilizados 8 horas diarias con un peso menor a 400kg en un periodo mensual, generando 844,8 kWh mensuales

Luego el sistema de iluminación y control requieren de un motor AC 220 V de una fase y 50 Hz, el cual requiere de 5 kW de potencia para su funcionamiento. Al igual que el sistema mecánico se hace el supuesto de un uso medio de 2 ascensores por 8 horas diarias con 40% de población, generando 480 kWh de potencia mensual. (11)

En conjunto el sistema de ascensores requiere de 1,325 MWh de potencia mensual.

#### **6.2.5 Calculo calefacción y refrigeración**

El sistema de calefacción y refrigeración están distribuidos en 4 maquinarias con el mismo funcionamiento y logrando ambas tareas necesarias. El sistema MMY-MAP1606FT8P se utiliza para la calefacción y refrigeración del sistema de aire acondicionado y del sistema de agua potable del edificio, requiriendo una potencia constante de 45 kWh por equipo. Este no se le considera el supuesto poblacional al ser requerido en su máxima capacidad en las horas tempranas y tardías del día.

Al calcular el consumo mensual, con 6 horas de uso diario, y 4 máquinas de este estilo se logra una potencia mensual de 32 MWh. (12)

#### **6.2.6 Calculo sistema de iluminación interna**

En las zonas subterráneas se utilizan únicamente iluminación hermética con tubos led de 8W. Los cuales logran generar una luminosidad de 140 lm/W logrando llegar a 20 m<sup>2</sup> de superficie cada uno. Para generar el cálculo necesario se localiza el espacio necesario de iluminación por este medio, que por los planos de inventor de los pisos -2 al -9 se aprecia 40,25 metros de largo y 36,55 de ancho, generando unos 1.741 m<sup>2</sup> de área superficial por piso subterráneo. Logrando un área de 11.769 m<sup>2</sup> a lo largo de todo el subterráneo. Generando así una necesidad de 580 focos de iluminación de bajo consumo, que requieren 4,7 kW/h.

En la zona superior del edificio no se necesita una iluminación total a diferencia del subterráneo por lo que los focos led utilizados en la parte de hotelería y comercio requieren de 5W de potencia energética. El espacio necesario iluminar en la parte superior del edificio son solo zonas comunes por lo que los espacios de los pisos 1 al 7 no requieren mucha iluminación, y los pisos piso -1 y 1 cuenta con iluminación natural por lo que la necesidad energética es menor.

El gasto energético así de los pisos -1 y 1 son de 20 leds de 5 W para 1320 m<sup>2</sup>, generando un consumo de 200W/h en el conjunto de estos. Y los pisos superiores utilizan la misma tecnología de leds con un



espacio de 210 m<sup>2</sup> por piso logrando 1470 m<sup>2</sup> para una necesidad de 392 leds de 2,5 W cada uno, generando 980 W/h de consumo.

Tras el consumo de 5,88 kW/h, se acerca a las necesidades del edificio de 6 horas diarias, contabilizado en un periodo anual se generan 35,28 kW diarios y 1 MW mensual.

### 6.2.7 Calculo estudio habitacional

Para generar el estudio habitacional se toma en cuenta cada elemento que requiera electricidad para su funcionamiento y se analiza un consumo diario medio por persona de estos elementos.

Para este caso se generó un Excel con cada elemento que contribuye al gasto energético. Luego se analizó el consumo que este tendrá con el sentido de apartahotel y calculo la población promedio que existirá dentro del complejo por parte de la variabilidad de la zona. Este análisis arrojó un consumo medio de 4,8 MW/h mensual para los 96 departamentos de 28 metros cuadrados, y de 1,3 MW/h mensual para los departamentos de 32 metros cuadrados. Con un uso del 40% habitacional, y una reducción energética por falta de electrodomésticos no existentes en hotelería genera 6,1 MW/h mensuales y 73,2 MW/h anuales

Electrodoméstico	Consumo kWh anuales
Frigorífico	665 kWh
Congelador	569 kWh
Televisión	262 kWh
Lavadora	265 kWh
Lavavajilla	245 kWh
Secadora	255 kWh
Horno	241 kWh
Consumo fantasma	241 kWh
Computadora	176 kWh
Otros	81 kWh

*Tabla 5: Consumo eléctrico domestico*

*Origen: <https://www.tourinnovacion.cl/energia/sabes-cuanta-energia-consume-tu-hogar/>*

Finalmente, con todos los supuestos generados y un aproximado del funcionamiento general del equipo se analizó un consumo mensual de 85 MWh, donde los mayores consumidores energéticos son el sistema de aire acondicionado y la calefacción y refrigeración del edificio.

### **6.3 Tercera etapa: Tecnología fotovoltaica**

El estudio fotovoltaico se realizó con objetivos para lograr un proyecto más claro, buscando conocer el funcionamiento total, las ventajas que ofrece, las limitaciones mecánicas y legales, puntos críticos para considerar, y poder ver las variaciones que se pueden obtener de equipos y tecnologías para el uso del edificio comercial.

#### **6.3.1 Generalidades**

Esta tecnología genera una conversión fotovoltaica, proceso por el cual las celdas de paneles solares de materiales fotosensibles y semiconductores liberan electrones excitados por la luz solar. Estos electrones liberados por todas las celdas generan una corriente eléctrica que avanza mediante el cableado hacia los inversores solares, donde se transforma la corriente continua a corriente alterna, para luego ser utilizada en la red eléctrica doméstica.

#### **6.3.2 Ventajas de la tecnología fotovoltaica**

La tecnología solar fotovoltaica puede generar corriente eléctrica para el uso doméstico de manera sustentable y segura. Mediante la ley 20.571 de generación de energía autosustentable estipula que el excedente de uso de energía puede ir directamente a la red pública para su futura venta. Al ser energía captada por luz solar no genera una combustión para su uso a diferencia de las redes de consumo eléctrico domésticas.

#### **6.3.3 Limitaciones**

Al ser una tecnología con un apoyo del gobierno por ser amigable con el medio ambiente, no tiene limitaciones al uso de la misma por este medio.

La mecánica del sistema no requiere motores ni maquinaria interna, por lo que lo único que requiere esta tecnología es que haya sombras en momentos tempranos y tardíos del día que puedan generar un desfase en el flujo eléctrico pudiendo terminar en un fallo en los paneles. Una solución es el uso

de micro inversores, para aislar cada panel solar asegurando el funcionamiento del sistema en caso de falla puntual.

En este proyecto se localizó las zonas donde es posible proponer los paneles solares sin contar con sombras a través del día. Estas zonas se pueden ver en la siguiente imagen donde los paneles solares están marcados.



*Imagen 5: Ubicación paneles solares*

*Origen: Imagen satelital de propuesta fotovoltaica.*

#### **6.4 Cuarta etapa: Recopilación y propuesta de soluciones**

En conjunto con la empresa Enerlife se generaron 3 propuestas de soluciones fotovoltaicas con el uso de paneles con potencia de 550 W. Estas fueron escogidas por las necesidades del edificio y por parte de la empresa Acar.

La primera propuesta plantea una solución ON GRID donde se busca generar una inyección energética a la red eléctrica del edificio, reduciendo de esta manera el consumo total requerido de energía por parte del sistema eléctrico público. Esta propuesta es la más factible al tener la menor inversión inicial, y al ser utilizada la totalidad de energía recopilada por los paneles fotovoltaicos.

En caso de cortes de energía el sistema deja de funcionar hasta que se reponga el suministro de luz.

La segunda propuesta busca un sistema ON GRID con las mismas especificaciones de la primera propuesta con la distinción de un sistema de baterías de respaldo para el funcionamiento de este en caso de corte de energía, generando una propuesta con mayor inversión, pero con un menor riesgo de función, principalmente pensado para las zonas de clínica o de necesidad.

La última propuesta planteada propone un sistema OFF GRID conectado a la red, el cual a diferencia de los anteriores no inyecta la energía generada a la red eléctrica del edificio. Esta funciona como sistema semi desconectado de la red para generar energía a una zona específica del edificio, en este caso se consideró la zona de estacionamientos subterráneos, al ser la zona con menor requerimiento energético. Además de ser de carácter semi desconectado por tener respaldo energético de la red pública por posibles fallas del sistema de baterías.

Todas las propuestas logran satisfacer a distintos grados la necesidad energética del sistema, reduciendo el consumo energético. La propuesta principal del sistema ON GRID sin respaldo logra un 7% de la necesidad energética del edificio. Este resultado es aceptable notando el consumo generado.

## 7. Soluciones propuestas

Tras la revisión de propuestas se define como solución final el uso de energía solar fotovoltaica, dado los varios usos y poca restricción climática, logrando el mayor impacto en la problemática de las soluciones. Así se busca implementar distintas soluciones de sistemas fotovoltaicos para las distintas necesidades del edificio. Las soluciones conseguidas por la investigación con la empresa “EnerLife” son las siguientes:

### 7.1 Solución “ON GRID”

Esta propuesta busca implementar la energía extraída por paneles solares directamente a la red eléctrica del edificio. Reduciendo el consumo general del mismo. Esta propuesta es la más eficiente y con menor costo, por lo que los cálculos generados serán empleados con esta propuesta.

## 7.2 Solución “OFF GRID”

Esta propuesta busca abastecer la energía requerida en una zona del edificio, generando una sustentabilidad energética por medio de baterías de litio cargadas con los paneles solares. Esta solución se implementaría en el caso de la venta seccionada por parte de la empresa, buscando mantener el apoyo fotovoltaico a la zona perteneciente del inversionista. Este sistema se mantendrá conectado la red pública de energía en caso de fallo del sistema fotovoltaico.

## 7.3 Solución “ON GRID” con respaldo

Esta solución utiliza el sistema ON GRID con el uso de baterías externas, con el propósito de mantener la red eléctrica del edificio en caso de corte de del servicio público, enfocado en las necesidades de la zona clínica y de emergencia del edificio

Al tener la mayor eficiencia la propuesta ON GRID se utiliza esta como propuesta principal y ocupa para el análisis del proyecto. Las 3 propuestas utilizan 54 paneles fotovoltaicos de 550W generando una potencia de 29,7kWh la cual es la máxima cantidad de paneles utilizables por la zona útil del edificio.

Todas las propuestas tienen el mismo objetivo con distintos riesgos necesidades para la decisión de la empresa.

## 7.4 Matriz de riesgo

Se analiza una matriz de riesgo para la identificación de los posibles problemas que pueden ocurrir en el proceso del mismo. Esta muestra la probabilidad e impacto en proyecto para revisar la importancia que este riesgo en la generación del proyecto y los tiempos necesarios para su realización. Con la mitigación requerida en cada punto se puede seguir el proyecto con mayor seguridad. Estos riesgos son analizados mediante la siguiente tabla.

		Probabilidad					Color		Nivel de Riesgo
		1	2	3	4	5			
Impacto	1	1	2	3	4	5	1 a 2		Aceptable
	2	2	4	6	8	10	3 a 4		Tolerable
	3	3	6	9	12	15	5 a 10		Moderado
	4	4	8	12	16	20	11 a 16		Alto
	5	5	10	15	20	25	17 a 25		Extremo

Tabla 3: Escala de matriz de riesgo

Origen: Elaboración propia

#### 7.4.1 Población polarizada (8)

- Impacto (4)
- Probabilidad (2)
- Mitigación: Generar el sistema con conexión externa de inyección eléctrica

#### 7.4.2 Falta de información de la maquinaria (9)

- Impacto (3)
- Probabilidad (3)
- Mitigación: Generar cálculos mecánicos para su búsqueda

#### 7.4.3 Limitaciones de paneles solares (8)

- Impacto (2)
- Probabilidad (4)
- Mitigación: Realizar un análisis exhaustivo de las propiedades

#### 7.4.4 Apoyo empresas externas (12)

- Impacto (4)
- Probabilidad (3)
- Mitigación: Aumentar el rango de búsqueda

#### 7.4.5 Errores de funcionamiento (4)

- Impacto (4)
- Probabilidad (1)
- Mitigación: Realizar mantenencias preventivas y un seguimiento de control de calidad

## 8.Evaluación Económica

Los proyectos requieren de inversión para su desarrollo y funcionamiento, por lo que la evaluación de las propuestas consideró los distintos costos de cada etapa y el beneficio a corto, mediano y largo plazo. Se evaluaron los siguientes 7 aspectos:

### 8.1 Costo eléctrico mensual

El precio establecido por Enel para empresas del tipo industrial, hotelera y locales comerciales con consumo mayor a 10.000 kWh mes es de \$109,7 CLP/kWh. Este valor se multiplica por la energía requerida del edificio, que es de 85 MWh mensual, lo cual arroja un total mensual de \$9.324.500CLP.

### 8.2 Costo inversión

Las 3 propuestas fueron evaluadas en conjunto con la empresa “EnerLife”. Se les solicitó 3 presupuestos para la realización de los proyectos. Estos consideran los materiales tales como los paneles fotovoltaicos, los inversores, las baterías, y todo lo requerido para su funcionamiento. También incluye la instalación de la tecnología, la puesta en marcha y las pruebas de funcionamiento,

#### 8.2.1 Propuesta sistema ON-GRID

- 1 inversor cargador trifásico on-grid de 30 kW
- 54 paneles fotovoltaicos Perc monocristalinos de 550 W.
- Instalación, pruebas de funcionamiento y puesta en marcha
- Valor total: \$31.077.310.-

#### 8.2.2 Propuesta sistema ON-GRID con respaldo

- 1 inversor Cargador trifásico on-grid de 30 KW
- 54 paneles fotovoltaicos de 550W.
- 3 inversores Cargador trifásico off-grid de 10 kW.
- 9 baterías de Litio de 4.8 kw.
- Instalación, pruebas de funcionamiento y puesta en marcha
- Valor total: \$63.451.998.-

### **8.2.3 Propuesta sistema OFF-GRID conectado a la red**

- 3 inversores Cargador trifásico on-grid de 10 KW.
- 54 paneles fotovoltaicos de 550W.
- 12 baterías de Litio de 4.8 kw.
- Instalación, pruebas de funcionamiento y puesta en marcha
- Valor total: \$50.394.958.-

### **8.3 Costo mantención**

Los paneles fotovoltaicos de la empresa EnerLife requieren un servicio trimestral para mantener su eficiencia (impurezas & suciedad a la que se exponen); incluyendo por seguridad la revisión de su funcionamiento interno. Este servicio de mantenimiento no requiere de implementos externos a limpieza, además de estar incluida la mantención mecánica por parte de la empresa, por lo que el gasto anual se deprecia al ser mínimo.

El costo de reparación de los equipos en caso de falla es inexacto al no saber la concurrencia de estas mismas, por lo que no se considera al momento del cálculo del flujo de caja

### **8.4 Depreciación tecnología**

La tecnología fotovoltaica de las propuestas tiene un periodo de vida útil de 25 años; terminado este periodo sigue manteniendo su función, pero con una reducción de la efectividad en menos del 15%, por lo que se genera una depreciación lineal de la tecnología en el periodo calificado, generando una pérdida de \$4.661.596 total, y \$186.463 anual.

### **8.5 Energía sustentable generada**

La potencia generada por la tecnología solar fotovoltaica se traduce a un consumo energético que se reduce de la cuenta mensual eléctrica, generando un ahorro en los egresos de la empresa. Esta energía se calcula igual que en las 2 propuestas ON-GRID, ya que la energía generada se utilizará en su totalidad. Al generar una potencia de 29,7 kWh se calcula un ahorro diario de 548,5 CLP, considerando el precio de 109,7 CLP/kWh y su uso total se reduce a 493.763 CLP mensuales de posible ahorro.



Luego, el proyecto OFF-GRID al depender del consumo empleado por la zona localizada no efectuará un uso total de la energía generada, llevando a su vez un ingreso menor mensual, a diferencia de las otras propuestas por la variabilidad de esta.

## 8.6 VAN

Para una evaluación más concluyente se elabora el cálculo del valor actual neto (VAN), logrando determinar la factibilidad y viabilidad del proyecto. Este cálculo se genera con el cálculo del flujo de caja por ingresos generados por el proyecto y los egresos necesarios por la mantención de equipo en un intervalo anual, con un periodo de 25 años por vida útil del material, y una tasa de descuento equivalente a 7% propuesta por la tasa social de descuento 2023.

Para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Fórmula 11

Donde:

- “n” = Número de periodos anuales, en este caso 25
- “F<sub>t</sub>” = Flujo de caja de periodo t, en este caso al ser lineal cada uno equivale a 5.925.156
- “k” = El interés o tasa de descuento proporcionada por la empresa, en este caso 7%
- “I<sub>0</sub>” = El valor de la inversión inicial, en la propuesta principal 31.077.310 CLP

Así se aprecia un VAN positivo de 37.971.987,37 CLP en 25 años de eficiencia energética, mostrando un retorno de inversión de un 122 % de la inversión inicial en el periodo analizado. Esto sin analizar el uso de la tecnología fotovoltaica luego del periodo analizado donde seguirán en función.

## 8.7 TIR

La tasa interna de retorno se calcula a la vez del VAN para contabilizar la máxima tasa de interés para que produzca la inversión, logrado en el momento en el que el VAN es nulo. Para el cálculo de este se utilizan los valores del VAN reemplazando la tasa de descuento por el TIR

$$VAN_{TIR} = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Fórmula 12

Donde:

- “VAN<sub>TIR</sub>” = VAN al momento de recuperar la inversión inicial
- “n” = Número de periodos anuales, en este caso 25
- “V<sub>t</sub>” = Flujo de caja de periodo t, en este caso al ser lineal cada uno equivale a 5.925.156
- “TIR” = Tasa interna de retorno
- “I<sub>0</sub>” = El valor de la inversión inicial, en la propuesta principal 31.077.310 CLP

Generando un TIR de 18,809% de beneficio de inversión, lo cual al ser mayor a la tasa de descuento de 7%, la inversión es rentable logrando asegurar la factibilidad del proyecto.

Con el cálculo del VAR y TIR se logra una inversión rentable, con un retorno de inversión factible demostrando que la solución principal genera un beneficio para la empresa. A su vez las 2 soluciones extras generan un beneficio menor al tener mayor inversión y complejidad en sus elementos.

## 9. Medidas de desempeño

Los key performance indicators son esenciales para comprobar el rendimiento del proyecto en función del impacto que genera. Por lo que en base al objetivo principal esperado se busca medir la función de las soluciones en base a los siguientes puntos:

### 9.1 Energía generada y energía necesaria para el edificio.

Las propuestas de solución solar fotovoltaica generan una parte de la energía necesaria para la función del edificio, por lo que se busca visualizar que tan productivo se vuelve la generación energética, en base a el porcentaje que esta solución genera compara a la total.

$$\frac{\text{Energía generada}}{\text{Energía total necesaria}} \cdot 100\%$$

Fórmula 13

## 9.2 Periodo de recuperación de inversión (PRI)

Se busca generar un periodo en el cual se generarán los ingresos necesarios para poder reponer la inversión inicial. Con esto la viabilidad del proyecto por parte económica se puede apreciar para tener la certeza del periodo de recuperación y luego de este periodo se considere ganancia.

$$PRI = A + \frac{B - C}{D}$$

Fórmula 14

Donde:

- A = El año anterior inmediato a la recuperación de la inversión, en este caso 5
- B = La inversión inicial de la empresa, en este caso 31.077.310
- C = Flujo de caja anterior al año de recuperación de la inversión, en este caso 5.925.156
- D = Flujo de caja en el año de recuperación de la inversión, en este caso 5.925.156
- 

## 9.3 Costo de producción energética

Al buscar reemplazar parte de la energía convencional con el uso de energía solar sustentable es necesario el análisis del costo de cada una para una de estas. Con esta medida se puede apreciar si es factible utilizar energía sustentable o si el costo de energía convencional es menor a la misma.

$$\frac{\text{Costo energía sustentable}}{\text{Costo energía convencional}} \cdot 100\%$$

Fórmula 15

De esta forma se puede apreciar si el porcentaje es menor a 100%, la energía sustentable tiene menor precio que la convencional, logrando ser más factible. Y a su vez si el porcentaje es mayor a 100% no es factible la implementación económicamente.

## 9.4 Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

El uso de energía sustentable para reducir el consumo de red pública reduce la contaminación por CO<sub>2</sub> que produce energías por medios no sustentables, la principal fuente de producción en Santiago. Por esto cuantifica la cantidad de CO<sub>2</sub> reducida por uso de estas fuentes alternas.

$$\text{Generación } CO_2 \cdot kW \text{ anual generado}$$

Fórmula 16

Donde:

- Generación CO<sub>2</sub> = La contaminación de CO<sub>2</sub> por kW generada por medios convencionales
- KW anual generado = La generación de energía fotovoltaica anual en el edificio

## 10.Resultados cualitativos y cuantitativos

El consumo energético del edificio ya analizado se puede apreciar las partes críticas de este, donde los sistemas de calefacción y refrigeración generan la mayor parte del gasto energético; debido a la energía requerida para poder aplicar un sustento térmico en más de 120 departamentos simultáneamente.

Luego se puede apreciar que las zonas de uso apartahotel requieren la mayor parte de consumo eléctrico versus las zonas subterráneas.

Con el cálculo realizado se obtiene un consumo promedio de 85 MWh mes y una inyección posible de 6 MWh mes con la propuesta, logrando el 7% de la necesidad total.

Luego, el análisis económico muestra la factibilidad del proyecto por parte del VAN y TIR logrando recuperar la inversión en un plazo menor a 6 años, pudiendo alcanzar ganancias en los siguientes 19 años de funcionamiento.

## 11.Conclusiones y Discusión

La evaluación detallada del sistema mecánico y eléctrico del edificio ha proporcionado una visión más clara sobre el funcionamiento de la maquinaria incorporada en este tipo de construcciones, permitiéndonos cuantificar de manera precisa las necesidades asociadas a dichos sistemas.

A pesar de las dificultades encontradas debido a la falta inicial de información y experiencia en proyectos de esta índole, hemos superado estos obstáculos mediante el empleo de herramientas especializadas en mecánica de fluidos y el análisis del movimiento en los sistemas de ventilación e hídricos necesarios. Este enfoque meticuloso ha resultado en una recopilación de datos precisa y en la obtención de resultados que no solo son fiables, sino que también contribuyen significativamente al avance del conocimiento en este campo.

La utilización de indicadores de desempeño ha brindado una garantía sólida sobre la funcionalidad de la tecnología implementada. Este análisis ha destacado la eficiencia del sistema, traducándose en beneficios tangibles como la reducción de costos operativos, un tiempo de recuperación de la inversión optimizado y una notable disminución en la emisión de dióxido de carbono, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental.

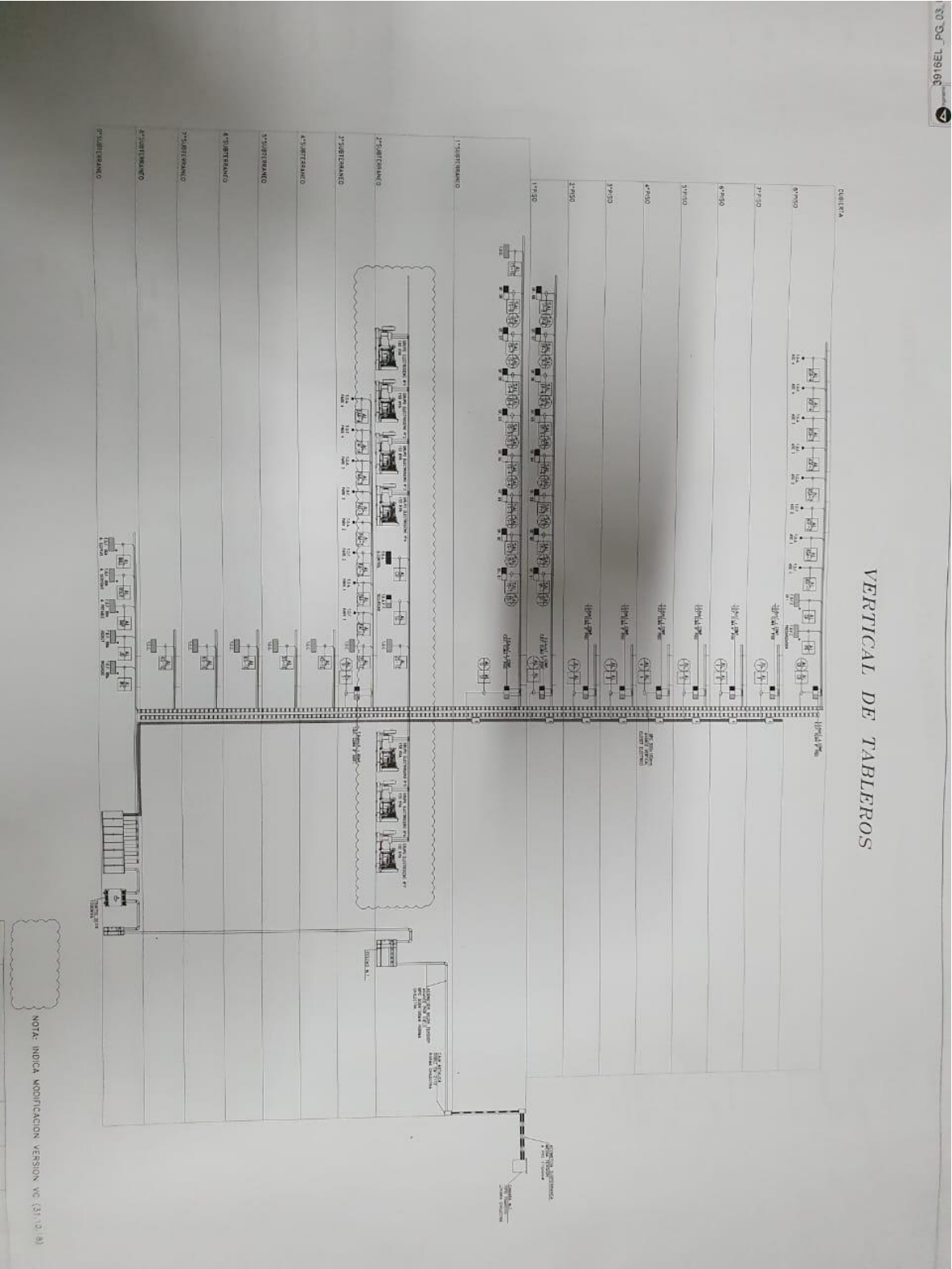
En particular, los paneles solares han demostrado no solo ser una fuente confiable de energía limpia, sino también una inversión a largo plazo que generará significativos ahorros económicos. La búsqueda de la implementación efectiva de estos paneles no solo persigue la reducción de la huella de carbono del edificio, sino que también tiene como objetivo disminuir y estabilizar la dependencia energética, contribuyendo así a la resiliencia y sostenibilidad a largo plazo del edificio y del entorno.

En resumen, este análisis integral no solo ha profundizado en el entendimiento de los sistemas involucrados, sino que también ha destacado la viabilidad y el potencial impacto positivo de las soluciones propuestas, abriendo la puerta a futuras implementaciones y mejoras en la eficiencia energética y sostenibilidad de edificaciones similares.

## 12. Referencias

1. Empresa Tritec group, (2015) TELETÓN SANTIAGO. Tritrec Intervento. Recuperado de: [https://tritec-intervento.cl/case\\_study/proyecto-teleton-santiago/](https://tritec-intervento.cl/case_study/proyecto-teleton-santiago/)
2. Solís Acuña, M., & Mata Abdelnour, E. (2022). Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo. Ingeniería, 32(2), 87-114.
3. Adfer, Parque eólico en una azotea. isARQuitectura Prefab. Recuperado de: <https://blog.is-arquitectura.es/2012/08/17/parque-eolico-con-turbinas-savonius-en-azotea-omrf-oklahoma/>
4. Carlos Montoya Rasero, (2010). Programa SOLCASA. Editorial El Instalador.
5. Soler&Paulau Ventilatio. Manual práctico de ventilación S&P. [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2009592/Content/SPA -  
Manual práctico de ventilación/SPA Manual practico ventilacion.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2009592/Content/SPA_-_Manual_práctico_de_ventilación/SPA_Manual_practico_ventilacion.pdf)
6. Soler Palau. VENTILADORES HELICOIDALES TUBULARES Serie TCBB/TCBT - HÉLICE DE ALUMINIO, [https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES TCBB-TCBT.pdf](https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_TCBB-TCBT.pdf)
7. Soler Palau. VENTILADORES HELICOIDALES TUBULARES Serie HCFB/HCFT - HÉLICE DE PLÁSTICO, [https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES HCFB-HCFT-HCBB-HCBT.pdf](https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_HCFB-HCFT-HCBB-HCBT.pdf)
8. ABB. Información detallada para: 3GAA093314-BSE. <https://new.abb.com/products/es/3GAA093314-BSE/3gaa093314-bse>
9. Bangkodi Industrial Park, Tivanon Road, Tambol Bangkadi, Amphur Muang, Toshiba. (2008). AIR CONDITIONER (MULTI TYPE) Installation Manual, (For commercial use). [https://www.toshiba-aire.es/download/manuales/IM\\_MMD-AP\\_6BHP1-E1\\_\(5-7-9-12-15-18-24-27-30-36-48-56\)\\_1116950191\\_EN.pdf](https://www.toshiba-aire.es/download/manuales/IM_MMD-AP_6BHP1-E1_(5-7-9-12-15-18-24-27-30-36-48-56)_1116950191_EN.pdf)
10. LVS/LVR. Stainless Steel Vertical Multistage Pump. [https://services.koslan.cl/cdn/ficha\\_tecnica/ficha-tecnica-1\\_22012020095448.pdf?\\_gl=1\\*du4wda\\*\\_ga\\*NjQxNTk5NDEzLjE3MDE4ODYzMTk.\\*\\_ga\\_JEVG0LSQRC\\*MTcwMTg4NjMxOC4xLjEuMTcwMTg4NjM2NS4xMy4wLjA](https://services.koslan.cl/cdn/ficha_tecnica/ficha-tecnica-1_22012020095448.pdf?_gl=1*du4wda*_ga*NjQxNTk5NDEzLjE3MDE4ODYzMTk.*_ga_JEVG0LSQRC*MTcwMTg4NjMxOC4xLjEuMTcwMTg4NjM2NS4xMy4wLjA)
11. DUPLEX Chile. Ascensor con Sala de Máquinas S830. <https://www.duplexchile.cl/wp-content/uploads/2023/04/Ascensor-Duplex-S830.pdf>
12. Toshiba. (2019). MMY-MAP1606FT8P Three-pipe SHRMe - Super Heat Recovery Condensing Unit. <https://www.cdlweb.info/wp-content/uploads/2020/04/MAP1606FT8P-SHRMe-outdoor-unit-Data-Sheet-single-page.pdf>

## 13. Anexos



Ventiladores de inyección y extracción de los subterráneos

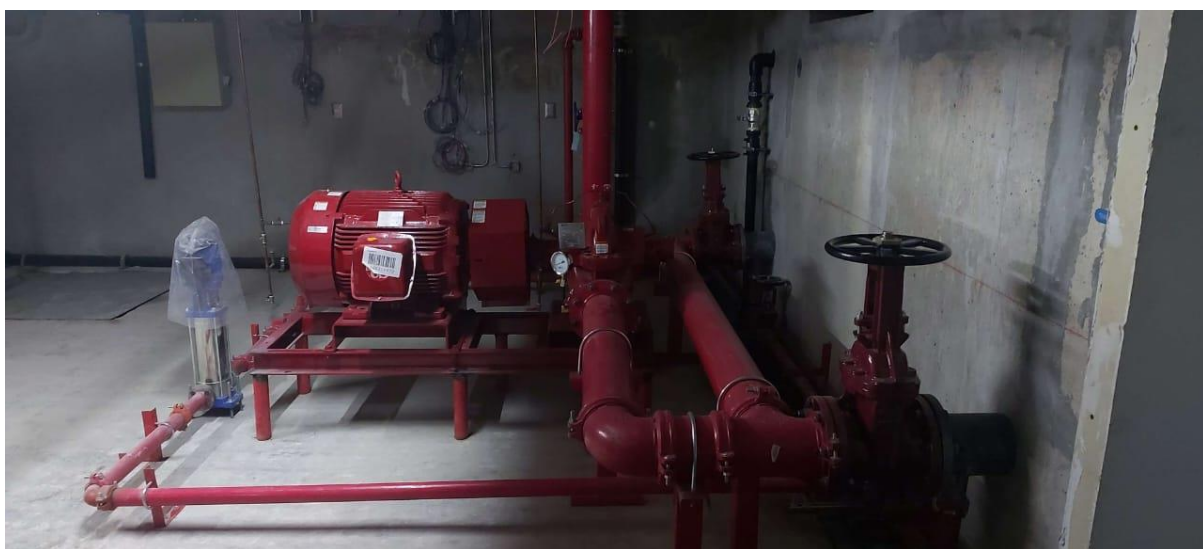
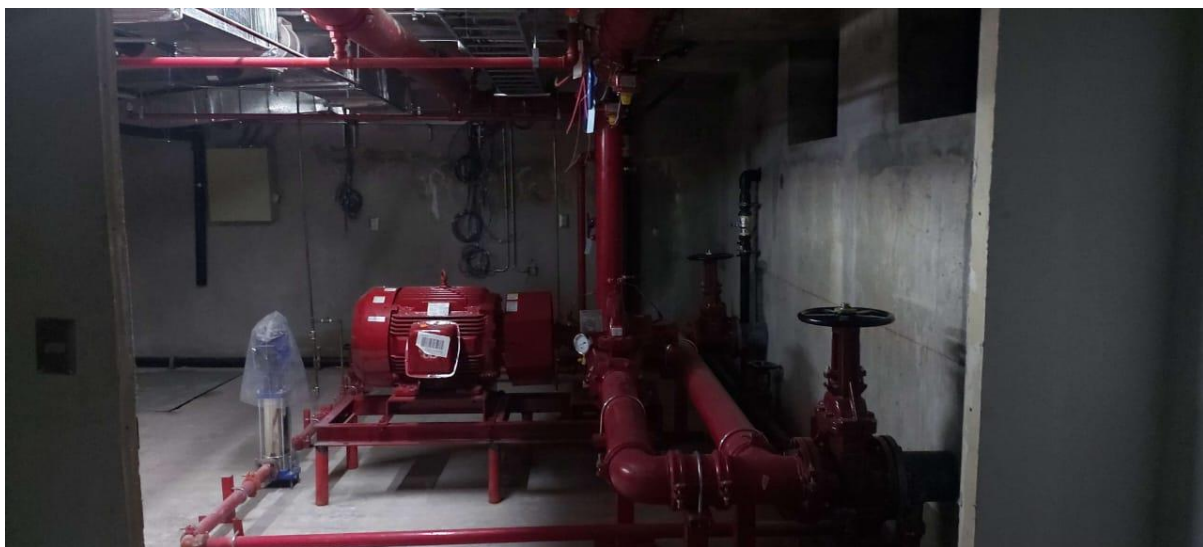




Sistema de ventilación zonas comunes de la obra



Sala de maquinaria sistema de agua potable



Bombas de inyección de agua



Pozos de agua de napas subterráneas

