



# Evaluación técnica-económica para el sistema de producción de agua caliente sanitaria en Minera Antucoya

Informe Final

Mayo 2021



**Edición:**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40  
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn • Alemania

**Nombre del proyecto:**

Descarbonización del Sector Energía en Chile

Marchant Pereira 150  
7500654 Providencia  
Santiago • Chile  
T +56 22 30 68 600  
I www.giz.de

**Responsable:**

Rainer Schröer/ Rodrigo Vásquez

**En coordinación:**

Ministerio de Energía de Chile  
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II  
Santiago de Chile  
T +56 22 367 3000  
I www.minenergia.cl

**Título:****Evaluación técnica-económica para el sistema de producción de agua caliente sanitaria en Minera Antucoya****Autor:****OCA Global**

**Vinko Music Benedek** Ingeniero Civil Mecánico Mención Energía  
Especialista Eficiencia Energética

**Arturo Espinosa Cáceres** Ingeniero Civil Industrial Dip. Ingeniería Ambiental (e)  
Analista/Ingeniero Coordinador de Proyectos

**Mariana Zappi Linder** Bióloga Msc Gestión y Planificación Ambiental  
Jefa de Proyectos y Operaciones

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Eficiencia energética en la minería materias primas y clima" implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y el Ministerio de Energía, en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

**Santiago de Chile, 19 de mayo de 2021**

## Resumen

Como aporte al desarrollo sostenible del país, la GIZ "Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit", una agencia del Gobierno Federal Alemán especializada en la cooperación técnica para el desarrollo sostenible en todo el mundo lanzó El Proyecto "Eficiencia Energética en Minería" que tiene contraparte política local al Ministerio de Energía de Chile y como socio implementador a la Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE). El presente estudio, gestionado y financiado por GIZ fue adjudicado a Minera Antucoya y desarrollado por OCA Global en el contexto del proyecto antes mencionado.

Actualmente, Minera Antucoya cuenta con un sistema de producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) por medio de acumuladores eléctricos ubicados en cada uno de sus 22 pabellones de alojamiento. En este estudio, se busca evaluar distintas tecnologías para disminuir el consumo de energía en el proceso de calentamiento de ACS.

En una primera evaluación, se estudiaron 4 tecnologías de producción de ACS: bombas de calor (BdC), calderas de condensación, calefón de condensación y calefactores eléctricos. Estas tecnologías se analizaron bajo criterios económicos, de eficiencia energética e impacto medioambiental (emisiones de gases de efecto invernadero). De esta evaluación, se seleccionaron las BdC como tecnología de producción de ACS, debido a su alta eficiencia energética presentan menores costos operacionales en virtud de un menor consumo energético, y por consiguiente, una menor emisión de Gases de Efecto Invernadero al compararlas con las otras alternativas. Sin embargo, de las tecnologías en estudio es la que presenta los mayores costos de inversión.

En una segunda evaluación, se analizó la incorporación de paneles solares térmicos como apoyo al sistema de producción de ACS. Para esto, se construyeron 4 escenarios para distintos aportes solares de los paneles (según superficie de paneles instalada) a la disminución de demanda energética por concepto de aumento de temperatura. De esta etapa, se seleccionó el escenario que tiene un aporte solar del 41%, con una superficie de 364 m<sup>2</sup> de paneles instalados. Esta medida, corresponde al punto medio entre los escenarios si se evalúan bajo criterios económicos y beneficios medioambientales.

Por último, se determinó y expuso la mejor solución espacial para implementar la medida propuesta. Para esto se dibujaron en REVIT centrales independientes de producción de ACS, una para cada plataforma de alojamiento considerando la demanda de ACS según el número de pabellones, distancias mínimas de seguridad, criterios técnicos y guías de diseño.

Ítem	Bombas de calor con aporte solar del SST de un 41%
CAPEX	\$421.594.243
OPEX	\$89.244.417
Consumo de energía primaria (MWh/año)	290,33
Ahorro de energía primaria (MWh/año) <small>(Contrastado con el caso base)</small>	1.231,57
Emisiones GEI evitadas (tCO <sub>2</sub> /año) <small>(Contrastado con el caso base)</small>	515,66

**Tabla 1:** Resumen de las variables de interés de la alternativa seleccionada

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>3 METODOLOGÍA</b> .....	<b>10</b>
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
4.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	13
4.2. RESULTADOS PRIMERA EVALUACIÓN .....	16
4.2.1. <i>Tecnologías de estudio</i> .....	16
4.2.2. <i>Modelación</i> .....	17
4.3. RESULTADOS SEGUNDA EVALUACIÓN .....	22
4.3.1. <i>Escenarios de aporte de energía solar</i> .....	22
4.3.2. <i>Modelación</i> .....	23
4.4. SOLUCIÓN ESPACIAL .....	28
4.4.1. <i>Consideraciones de los termopaneles solares.</i> .....	28
4.4.2. <i>Diseño espacial de las centrales de producción de Agua Caliente Sanitaria</i> .....	30
4.4.3. <i>Principales equipos</i> .....	39
<b>5. PRECERTIFICACIÓN CAPE</b> .....	<b>40</b>
5.1. RESULTADOS DE LA JORNADA DE MEDICIÓN.....	41
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>43</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>45</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> RESUMEN DE LAS VARIABLES DE INTERÉS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	<b>4</b>
<b>TABLA 2:</b> PARÁMETROS DE ENTRADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO. ....	<b>17</b>
<b>TABLA 3:</b> CONSUMO DE ENERGÍA POR TIPO DE TECNOLOGÍA. ....	<b>18</b>
<b>TABLA 4:</b> COSTOS DE INVERSIÓN POR TECNOLOGÍA. ....	<b>19</b>
<b>TABLA 5:</b> COSTOS DE OPERACIÓN POR TECNOLOGÍA. ....	<b>19</b>
<b>TABLA 6:</b> RESUMEN DEL ANÁLISIS FINANCIERO POR TECNOLOGÍA. ....	<b>20</b>
<b>TABLA 7:</b> EMISIONES DE GEI POR TECNOLOGÍA. ....	<b>21</b>

<b>TABLA 8:</b> RESUMEN DEL ANÁLISIS FINANCIERO CONTRASTADO CON EL ESCENARIO BASE.....	21
<b>TABLA 9:</b> RESUMEN DE ATRIBUTOS DE INTERÉS PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.....	21
<b>TABLA 10:</b> RESUMEN DE ESCENARIOS DE APORTE SOLAR DE LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS. ....	22
<b>TABLA 11:</b> VARIABLES METEOROLÓGICAS DE INTERÉS. ....	23
<b>TABLA 12:</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CONSIDERACIONES RELEVANTES PARA EL USO DE PANELES SOLARES TÉRMICOS .....	23
<b>TABLA 13:</b> CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA POR ALTERNATIVA.....	24
<b>TABLA 14:</b> COSTOS DE INVERSIÓN POR APORTES DE ENERGÍA SOLAR AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ACS.....	24
<b>TABLA 15:</b> COSTOS DE OPERACIÓN POR APORTES DE ENERGÍA SOLAR AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ACS.....	25
<b>TABLA 16:</b> RESUMEN DEL ANÁLISIS FINANCIERO PARA EL USO DE BOMBAS DE CALOR CON Y SIN APORTE DE ENERGÍA POR TERMOPANELES. ....	25
<b>TABLA 17:</b> EMISIONES DE GEI DE LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS SEGÚN DISTINTOS APORTES DE ENERGÍA SOLAR. ....	26
<b>TABLA 18:</b> RESUMEN DEL ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS ALTERNATIVAS CONTRASTADO CON EL ESCENARIO BASE. ....	27
<b>TABLA 19:</b> RESUMEN DE ATRIBUTOS DE INTERÉS PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	27
<b>TABLA 20:</b> PLANO ISOMÉTRICO Y VISTA EN PLANTA DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS .....	31
<b>TABLA 21:</b> NÚMERO DE PERSONAS POR PLATAFORMA DE ALOJAMIENTO .....	39
<b>TABLA 22:</b> PRINCIPALES EQUIPOS REQUERIDOS POR CENTRAL DE PRODUCCIÓN DE ACS.....	40
<b>TABLA 23:</b> RESULTADOS CONSUMO DE ACS PARA EL PABELLÓN N°16 .....	41
<b>TABLA 24:</b> TEMPERATURAS DEL AGUA EN LOS ACUMULADORES 10 Y 11 DE LA SALA DE TERMOS CORRESPONDIENTES AL PABELLÓN 16 .....	41
<b>TABLA 25:</b> TEMPERATURAS DEL AGUA EN DISTINTOS PUNTOS DE LA MEZCLADORA CORRESPONDIENTE AL PABELLÓN N°16 .....	41
<b>TABLA 26:</b> TEMPERATURA AMBIENTE EN LA SALA DE ACUMULADORES DE AGUA CORRESPONDIENTES AL PABELLÓN N°16 .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> ESQUEMA REFERENCIAL DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN .....	12
<b>FIGURA 2:</b> UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE MINERA ANTUCOYA.....	14
<b>FIGURA 3:</b> UBICACIÓN DEL CAMPAMENTO DENTRO DE LA MINERA.....	15
<b>FIGURA 4:</b> CAMPAMENTO ANTUCOYA.....	16
<b>FIGURA 5:</b> ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ACS. ....	28
<b>FIGURA 6:</b> RECORRIDO SOLAR EN EL SOLSTICIO DE VERANO EN ANTUCOYA.....	29
<b>FIGURA 7:</b> UBICACIÓN DE LAS CENTRALES DENTRO DEL CAMPAMENTO ANTUCOYA.....	30
<b>FIGURA 8:</b> CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°2 .....	32
<b>FIGURA 9:</b> PLANOS ISOMÉTRICOS DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°2 .....	32
<b>FIGURA 10:</b> VISTA DE PLANTA PISO 1. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°2. ....	33

<b>FIGURA 11:</b> VISTA DE PLANTA PISO 2. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°2 .....	33
<b>FIGURA 12:</b> PLANO DE ELEVACIÓN DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°2 .....	33
<b>FIGURA 13:</b> CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°3 .....	34
<b>FIGURA 14:</b> PLANOS ISOMÉTRICOS DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°3 .....	34
<b>FIGURA 15:</b> VISTA DE PLANTA PISO 1. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°3 .....	35
<b>FIGURA 16:</b> VISTA DE PLANTA PISO 2. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°3 .....	35
<b>FIGURA 17:</b> PLANO DE ELEVACIÓN DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°3 .....	35
<b>FIGURA 18:</b> CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°4 .....	36
<b>FIGURA 19:</b> PLANOS ISOMÉTRICOS DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°4 .....	36
<b>FIGURA 20:</b> VISTA DE PLANTA PISO 1. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°4 .....	37
<b>FIGURA 21:</b> VISTA DE PLANTA PISO 2. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°4 .....	37
<b>FIGURA 22:</b> PLANO DE ELEVACIÓN DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°4 .....	37
<b>FIGURA 23:</b> CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°5 .....	38
<b>FIGURA 24:</b> PLANOS ISOMÉTRICOS DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°5 .....	38
<b>FIGURA 25:</b> VISTA DE PLANTA PISO 1. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°5 .....	39
<b>FIGURA 26:</b> VISTA DE PLANTA PISO 2. CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°5 .....	39
<b>FIGURA 27:</b> PLANO DE ELEVACIÓN DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN PLATAFORMA N°5 .....	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO BOMBAS DE CALOR .....	46
<b>ANEXO 2:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO CALDERA DE CONDENSACIÓN .....	47
<b>ANEXO 3:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO CALEFÓN DE CONDENSACIÓN .....	48
<b>ANEXO 4:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO BOMBAS DE CALOR CON UN APORTE SOLAR DEL 20% .....	49
<b>ANEXO 5:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO BOMBAS DE CALOR CON UN APORTE SOLAR DEL 41% .....	50
<b>ANEXO 6:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO BOMBAS DE CALOR CON UN APORTE SOLAR DEL 65% .....	51
<b>ANEXO 7:</b> FLUJO DE CAJA CONSIDERANDO BOMBAS DE CALOR CON UN APORTE SOLAR DEL 77% .....	52
<b>ANEXO 8:</b> LÁMINA 1 - CENTRAL PLATAFORMA N°2 .....	53
<b>ANEXO 9:</b> LÁMINA 2 - CENTRAL PLATAFORMA N°3 .....	54
<b>ANEXO 10:</b> LÁMINA 3 - CENTRAL PLATAFORMA N°4 .....	55
<b>ANEXO 11:</b> LÁMINA 4 - CENTRAL PLATAFORMA N°5 .....	56

## ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

- **ASE:** Agencia de Sostenibilidad Energética
- **GEI:** Gases de efecto invernadero
- **AMSA:** Antofagasta Minerals S.A.
- **EE:** Eficiencia Energética
- **ACS:** Agua caliente sanitaria
- **CAPE:** Certificación de Ahorros de Proyectos Energéticos
- **COP:** Coeficiente de rendimiento
- **GLP:** Gas licuado de petróleo
- **BdC:** Bomba de calor
- **SST:** Sistemas solares térmicos
- **PRI:** Periodo de retorno inversión
- **VAN:** Valor actual neto
- **IVAN:** Índice de valor actual neto (razón entre el VAN y la inversión)
- **TIR:** Tasa interna de retorno



## 1 Introducción

La minería es una de las principales actividades de la economía chilena, y en el último decenio, el sector minero chileno ha representado el 11,4% del PIB nacional y un aporte promedio de 10% al financiamiento fiscal, así como cerca de un 60% de sus exportaciones totales<sup>1</sup>. Los procesos productivos que están detrás de los aportes del sector minero al desarrollo económico y social de Chile representan aproximadamente el 29% del consumo eléctrico en Chile, de acuerdo con la estimación hecha por Consejo Minero a partir de los datos del Ministerio de Energía, la Comisión Nacional de Energía y de Cochalco<sup>2</sup>. A raíz de lo anterior, el sector minero genera indirectamente un 14% del total de los gases de efecto invernadero (GEI) del país atribuible al consumo de energía eléctrica.

En el último tiempo se ha evidenciado una creciente tendencia a nivel mundial en las organizaciones del sector público y privado hacia la implementación de medidas tendientes a optimizar el uso de la energía en sus procesos productivos. En este contexto, como aporte al desarrollo sostenible del país, la GIZ "Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit", una agencia del Gobierno Federal Alemán especializada en la cooperación técnica para el desarrollo sostenible en todo el mundo lanzó El Proyecto "Eficiencia Energética en Minería" que tiene como contraparte política local al Ministerio de Energía de Chile y como socio implementador a la Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE). Este proyecto pretende dar apoyo en la generación, replicación y adaptación de iniciativas de eficiencia energética, que entre sus actividades pretende acelerar la introducción en el país de medidas concretas para el aumento de la eficiencia energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero<sup>3</sup>.

Dentro del sector minero, Minera Antucoya perteneciente al Grupo Antofagasta Minerals S.A. (AMSA) ha dado énfasis en la Gestión Energética como uno de los pilares que actúan de manera transversal en las diferentes iniciativas de innovación, excelencia operacional, competitividad y costos y mecanismo de reducción de Gases de Efecto de Invernadero. Para lograrlo, se fomenta la innovación, investigación y aplicación de mejoras en términos de Gestión Energética, incluyendo Eficiencia Energética (EE), diversificación de la matriz de suministro de energía eléctrica y térmica y renegociación de contratos eléctricos<sup>4</sup>.

Este proyecto fue adjudicado por Minera Antucoya, que busca la evaluación de tecnologías eficientes en la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en su campamento.

---

<sup>1</sup> Consejo minero, 2019. Posición y compromiso del sector minero chileno en el contexto de la COP 25.

<sup>2</sup> Revistaei, 2019. Las 10 mineras con mayor consumo eléctrico en MWh.

<sup>3</sup> Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2019. Proyecto: Eficiencia energética en la minería

<sup>4</sup> Antofagasta Minerals, 2019. Reporte de avance del convenio de cooperación entre ministerio de energía y consejo minero.

Actualmente, Minera Antucoya cuenta con un sistema de producción de ACS por medio de acumuladores eléctricos ubicados en cada uno de sus 22 pabellones de alojamiento, que corresponden a las casas de cambio y campamentos. En este proyecto, se realizará una evaluación técnica y económica sobre alternativas tecnológicas que permitan la disminución el consumo de energía en el proceso de calentamiento de ACS. En la evaluación, se buscará establecer una línea de base energética, comparar proyectos y modelar escenarios para guiar la toma de decisiones de inversión (CAPEX, OPEX, PRI e IVAN) .

## 2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es desarrollar una asesoría técnica y económica con el fin de identificar la mejor solución tecnológica para la producción de ACS según las necesidades y requerimientos técnicos del campamento de Minera Antucoya perteneciente al grupo Antofagasta Minerals, ubicado en la región de Antofagasta.

## 3 Metodología

Para determinar la mejor alternativa para la producción de ACS se identificaron y evaluaron diferentes tecnologías, obteniendo para cada una indicadores económicos - CAPEX, OPEX, IVAN, TIR, VAN y Payback- y medioambientales – reducción de consumo energético y Gases de Efecto Invernadero-, así como criterios técnicos y de seguridad de Antucoya. Posteriormente, para la alternativa seleccionada, se diseñó la solución espacial más adecuada en función de la infraestructura existente.

Cabe destacar, que las tecnologías seleccionadas fueron evaluadas considerando como escenario base el uso de calefactores eléctricos. Tecnología que hoy en día se utiliza para producir ACS, y que actualmente se encuentra en cartera el proyecto de su renovación.

En esencia, el proyecto se dividió en 3 grandes etapas:

1. **Primera evaluación:** Análisis de las tecnologías de producción de ACS
2. **Segunda evaluación:** Análisis de la incorporación de paneles solares térmicos como sistema de apoyo para la producción de ACS
3. **Solución espacial:** Obtención y presentación de la solución física y espacial de la medida propuesta.

Para el desarrollo de las etapas anteriormente mencionadas, se ejecutaron las siguientes fases y actividades.

### **I. Levantamiento y definición de información para el modelo**

Para definir los criterios de entrada del modelo de demanda de ACS, a través del cual se evaluó y dimensionó las tecnologías disponibles, se solicitó información clave de Antucoya, dentro de la cual se encuentra: datos de consumo de ACS, tarifas de los recursos energéticos, condiciones de uso de la ACS, entre otros. Adicionalmente, se solicitó información histórica de variables meteorológicas, específicamente, temperatura ambiente y radiación solar.

### **II. Evaluación preliminar de las tecnologías de producción ACS**

A partir de la información recopilada, se obtuvo la demanda de energía de Antucoya, considerando un escenario sin contingencia sanitaria. Posteriormente, en base a especificaciones técnicas de los equipos, se calculó el consumo de energía primaria necesaria para satisfacer dicha demanda.

Posteriormente, se realizó un análisis financiero considerando gastos de inversión y operación obteniendo como resultados los siguientes índices económicos; VAN, IVAN, TIR y Payback. También, se realizaron estimaciones de emisiones GEI para cada una de las tecnologías.

En esta etapa se definió la siguiente información:

- ✓ Determinación de inversiones y otros costos para implementar las medidas identificadas.
- ✓ Determinación de ahorros monetarios de cada medida.
- ✓ Determinación de indicadores de evaluación económica (periodo retorno inversión simple, VAN, IVAN y TIR).
- ✓ Determinación de potenciales ahorros energéticos de cada medida.
- ✓ Estimación de las emisiones GEI anuales por tecnología

Por último, en base al análisis de los indicadores económicos y ambientales, Antucoya seleccionó la tecnología que mejor se adapta a sus necesidades y requerimientos.

### **III. Evaluación preliminar de la incorporación de paneles solares térmicos como sistema de apoyo**

Posterior a la elección de la tecnología de producción de ACS, se incorporó al análisis el uso de termopaneles solares como sistema de apoyo. Para esto se elaboraron 4 escenarios para distintos aportes de energía solar a la disminución de la demanda energética por concepto de aumento de temperatura.

Para la construcción de los escenarios, se utilizó la información recopilada, antecedentes de las modelaciones de la primera etapa, datos de variables meteorológicas y especificaciones técnicas de los paneles para calcular los distintos aportes de energía solar según la superficie de paneles a utilizar.

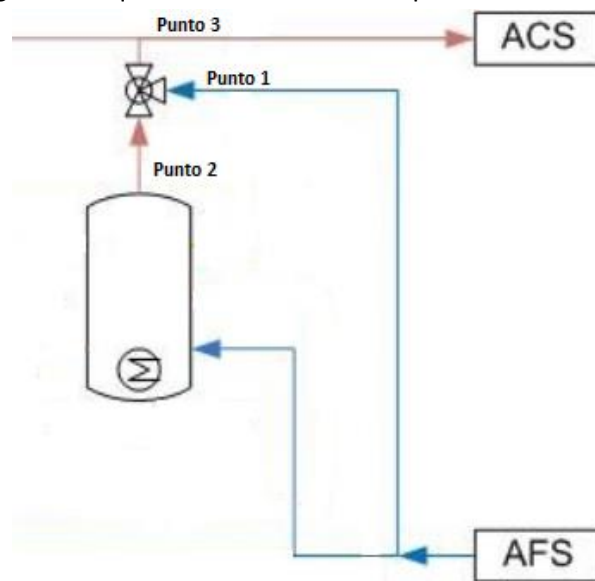
Para finalizar se realizó el mismo análisis financiero y medioambiental definido en la primera etapa del estudio, para cada uno de los escenarios.

#### IV. Vista a terreno: Medición e inspección de las instalaciones

Para la obtención de datos reales de consumo de ACS, se realizaron jornadas de medición en terreno durante 2 días, donde se midieron los caudales del agua fría que ingresa a la sala de termos eléctricos. A su vez, se midió la temperatura del agua sanitaria en 3 puntos distintos de la sala que se utilizó como referencia.

- *Punto 1:* Entrada de agua fría al mezclador desde la matriz
- *Punto 2:* Salida de agua caliente de los termos eléctricos hacia el mezclador
- *Punto 3:* Mezcla entre el agua fría de entrada y el agua caliente de los termos eléctricos

**Figura 1:** Esquema referencial de los puntos de medición



Fuente: Elaboración propia

Para esto se utilizaron medidores de flujo ultrasónicos y termocuplas con data logger. Las mediciones se hicieron en intervalos de tiempos definidos, específicamente, cada 1 minuto durante 24 hrs (940 mediciones).

Estas mediciones se realizaron para obtener una línea de base de consumo energético, insumo necesario para el ingreso a precertificación CAPE.

Adicionalmente, se realizaron inspecciones de las instalaciones para evaluar la infraestructura y obtener disponibilidades de espacios físicos para la implementación de la medida propuesta. Estos espacios disponibles fueron definidos por el Administrador de Servicios a Personas de Antucoya.

#### **V. Proyección espacial de la tecnología seleccionada**

En esta fase, se dibujó en REVIT la solución espacial de la alternativa propuesta. Para esto se consideró el diseño de 4 centrales independientes de producción de ACS, una para cada plataforma de alojamiento<sup>5</sup>. A la vez, se consideraron las distancias mínimas de seguridad y criterios técnicos establecidos en los decretos o guías de diseños aplicables a la solución definida.

Como resultado de esta actividad, se obtuvieron los planos isométricos y vistas de planta de la infraestructura con la medida propuesta. Adicionalmente, se identificaron y cuantificaron los equipos necesarios para la implementación.

#### **VI. Información base para ingreso precertificación CAPE**

A partir de la jornada de mediciones en terreno, se obtuvo información requerida para la posterior elaboración de la línea de base de consumo energético utilizado para producir ACS durante el periodo de referencia. Posteriormente, esta información será utilizada para realizar el proceso de precertificación una vez que se definan plazos para implementar la medida propuesta.

## **4 Resultados**

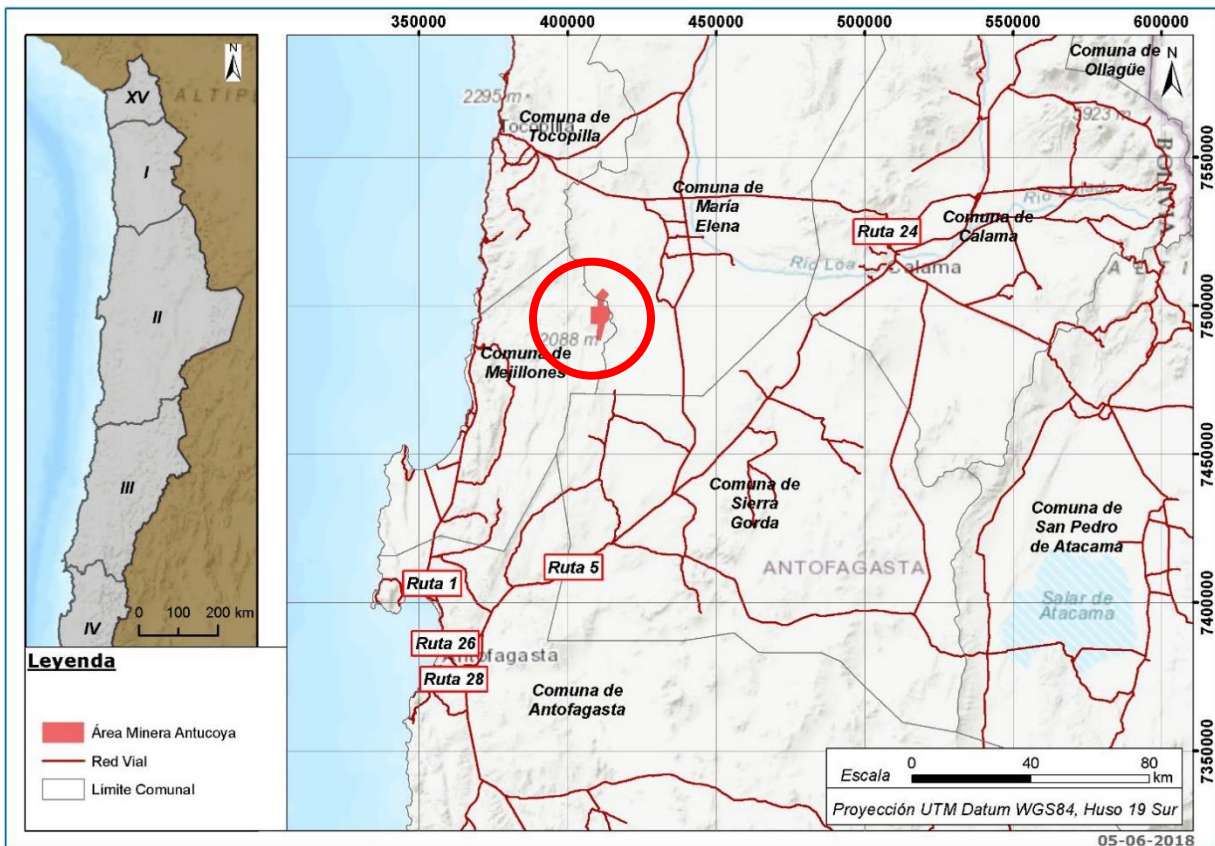
### **4.1. Localización del proyecto**

Minera Antucoya se ubica en la región de Antofagasta, en las comunas de Mejillones y María Elena, Provincias de Antofagasta y Tocopilla, respectivamente. Específicamente, el yacimiento Antucoya se ubica a 125 km al Noreste de Antofagasta, alrededor de 45 km hacia el interior desde la costa, a una altura aproximada de 1.700 m.s.n.m.

---

<sup>5</sup> Cada plataforma de alojamiento está compuesta por un número específico de pabellones, como se puede ver en la **Figura 4**

**Figura 2:** Ubicación geográfica de Minera Antucoya.



Fuente: DIA Modificaciones II Minera Antucoya

Dentro de Antucoya se dispone de un campamento que cuya función es brindar alojamiento a los colaboradores (Figura 3). Este campamento se divide en 22 pabellones de los cuales fueron agrupados por Antucoya en 4 plataformas (Figura 4).

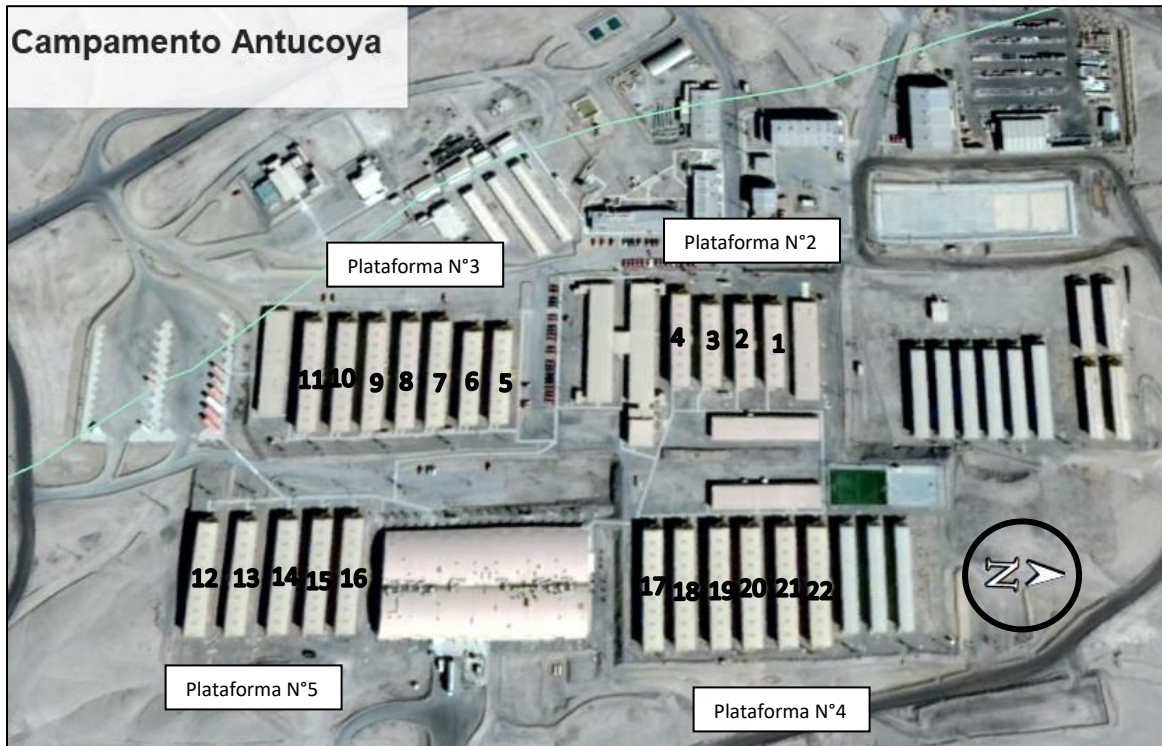
- Plataforma N°2: Pabellones 1-2-3-4
- Plataforma N°3: Pabellones 5-6-7-8-9-10-11
- Plataforma N°4: Pabellones 12-13-14-15-16
- Plataforma N°5: Pabellones 17-18-19-20-21-22

**Figura 3:** Ubicación del campamento dentro de la Minera.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4:** Campamento Antucoya



Fuente: Minera Antucoya

## 4.2. Resultados primera evaluación

En este apartado se revisarán brevemente las tecnologías por evaluar, se presentarán los resultados de la modelación, el análisis financiero, y por último, se presentará un estimado de emisiones de GEI por cada tecnología.

### 4.2.1. Tecnologías de estudio

Para la producción de ACS, se evaluarán las tecnologías que se mencionan a continuación.

#### Bombas de calor

Las bombas de calor (BdC) son máquinas térmicas que pueden calentar o enfriar un espacio, un fluido, y ACS, transportando energía de un lugar a otro. Los principales beneficios del uso de las BdC son que esta posee una mayor eficiencia energética y menores costos de operación para los consumidores<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Fuster, Harfagar, Jofré & Soto, 2020. Bombas de calor, una guía para el usuario.



El uso de esta tecnología generalmente implica una inversión inicial más elevada si se compara con otros equipos convencionales de producción de ACS. Sin embargo, presenta costos operacionales considerablemente menores.

### Caldera de condensación

Las calderas de condensación aprovechan una parte del calor latente del agua de los gases procedentes de la combustión, provocando condensación en una zona de la cámara de este proceso. A diferencia de las calderas convencionales, al aprovechar el calor latente del proceso de combustión se genera una mayor eficiencia en el uso de combustibles.

### Calefón de condensación

Los calefón de condensación son sistemas muy similares a las calderas de condensación anteriormente mencionadas. Su principal diferencia radica en la potencia térmica de los equipos y su fácil instalación.

## 4.2.2. Modelación

Para la comparación de las tecnologías, se realizaron una serie de modelaciones para cada una de ellas, considerando sus especificaciones técnicas, valores, tiempo de respuesta, entre otros, en función de la realidad operacional y necesidades del proyecto.

### Criterios de entrada

Para el desarrollo del modelo, se recopilaron una serie de parámetros necesarios para su construcción. Los datos recopilados se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Parámetros de entrada para la construcción del modelo.

Número de habitantes (personas)	3312
Litros diarios de ACS (Lts/día)	30
Temperatura de ACS (°C)	45
Entrada de agua fría (°C)	10
Demanda punta	60%
EE resistencia	97%
COP BdC	3
EE caldera condensación	102%
EE calefón condensación	108%
Valor dólar (CLP/USD)	800

Fuente: Minera Antucoya y especificaciones técnicas de los equipos

Es preciso destacar que, dado el sistema de turnos bajo el cual operan los colaboradores que residen en el campamento y, hacen uso del ACS, el 60% de la dotación ocupa las duchas en horario diurno y el 40% restante en horario nocturno. Por lo tanto, si bien la simultaneidad durante una hora es del 100%, la demanda máxima corresponde al horario punta diurno (60% de colaboradores).

En cuanto a las tarifas de los recursos energéticos, es necesario señalar que Antucoya posee contrato de cliente libre, por lo que puede acceder a tarifas preferenciales de energía eléctrica. En relación con las tarifas de gas licuado, éstas son proporcionadas por Antucoya basado en cotizaciones previas de otros servicios.

### Demanda de energía

En base a los parámetros de entrada, se obtuvo que la demanda de energía para producir ACS y satisfacer las condiciones del sistema es de 1.476.241 kWh/añuales.

A partir de la demanda del sistema y de las especificaciones técnicas de los equipos de producción de ACS se calculó el consumo de energía que tendrían los equipos para satisfacer dicha demanda. El consumo de energía por tecnología se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Consumo de energía por tipo de tecnología.

Ítem	Bomba de calor	Caldera de condensación	Calefón de condensación	Calefactores
Recurso energético	Electricidad	Gas licuado de petróleo	Gas licuado de petróleo	Electricidad
Consumo energía primaria (kWh/añual)	492.080	1.443.051	1.370.697	1.521.898
Consumo energía primaria (Unidades de venta)	492.080 kWh	186.609 litros	177.253 litros	1.521.898 kWh

Fuente: Elaboración propia

### Análisis financiero

Para realizar el análisis financiero, se consideró como escenario base el proyecto de ACS que actualmente está evaluando Antucoya, que consiste en la renovación de los calefactores eléctricos, tecnología que hoy en día se utiliza para producir ACS. Cabe mencionar, que dicho proyecto se ajustó de forma tal de poder homologar criterios y comparar el ahorro real proyectado para las tecnologías.

En base a los criterios de entrada del modelo, especificaciones técnicas de los equipos y cotizaciones se obtuvieron los costos de inversión y operación, como se muestra en la Tabla 4 y Tabla 5 respectivamente.

**Tabla 4:** Costos de inversión por tecnología.

Ítem	Bomba de calor	Caldera de condensación	Calefón de condensación	Calefactores
Materiales y equipos mecánicos	\$174.999.240	\$138.342.888	\$65.871.216	\$102.311.209
Materiales tablero de fuerza y control	\$21.516.300	\$19.763.270	\$10.798.560	
Mano de obra	\$63.573.333	\$42.986.667	\$23.146.667	
<b>Total instalación</b>	<b>\$260.088.873</b>	<b>\$201.092.825</b>	<b>\$99.816.443</b>	<b>\$102.311.209<sup>7</sup></b>
Ingeniería de detalle y documentación	\$10.800.000	\$10.800.000	\$7.170.000	
<b>Total desarrollo del proyecto</b>	<b>\$10.800.000</b>	<b>\$10.800.000</b>	<b>\$7.170.000</b>	
<b>Total proyecto inversión</b>	<b>\$270.888.873</b>	<b>\$211.892.825</b>	<b>\$106.986.443</b>	<b>\$102.311.209</b>
<b>Total proyecto inversión</b>	<b>US\$338.611</b>	<b>US\$264.866</b>	<b>US\$133.733</b>	<b>US\$127.889</b>

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar, que el presente análisis financiero no considera la ejecución de obras civiles necesarias para acondicionar la sala de producción de ACS (bases de cemento y recinto) durante la fase construcción.

Tampoco se consideran los gastos generales necesarios para la operación a la interior de la minera por parte de la empresa contratista (seguridad, movilización, entrega de EPP, exámenes, entre otros), y tampoco la utilidad de la empresa que desarrolle la solución.

**Tabla 5:** Costos de operación por tecnología.

Ítem	Bomba de calor	Caldera de condensación	Calefón de condensación	Calefactores
Costo energía	\$58.062.342	\$137.157.960	\$130.280.959	\$115.055.500
Costo potencia	\$14.192.246			\$43.798.743
Costo mantenimiento	\$27.869.184	\$25.878.528	\$24.224.320	\$33.998.000
<b>Total costos de operación anuales</b>	<b>\$100.123.773</b>	<b>\$163.036.488</b>	<b>\$154.505.279</b>	<b>\$192.852.243</b>
<b>Total costos de operación anuales</b>	<b>US\$125.155</b>	<b>US\$203.796</b>	<b>US\$193.132</b>	<b>US\$241.065</b>

Fuente: Elaboración Propia

<sup>7</sup> Este monto corresponde a los equipos de instalación, no hay otros gastos ya que el proyecto considera en reemplazar equipamientos antiguos por nuevos

Posteriormente, a partir de los costos de inversión y operación se construyeron los flujos de caja para calcular el VAN, IVAN, TIR y Payback para cada una de las tecnologías<sup>8</sup>. El resumen de los datos financieros obtenidos se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Resumen del análisis financiero por tecnología.

Ítem	Bomba de calor	Caldera de condensación	Calefón de condensación
Inversión	\$270.888.873	\$211.892.825	\$106.986.443
Costo total operación	\$100.123.773	\$163.036.488	\$154.505.279
Diferencia de inversión sobre caso base	\$168.577.664	\$109.584.616	\$4.675.234
VAN	\$401.198.644	\$73.623.290	\$230.950.257
IVAN (Razón entre el VAN y la inversión)	2,38	0,67	49,40
TIR	54,29%	24,06%	820,21%
Retorno inversión	1,82 años	3,7 años	0,12 años

Fuente: Elaboración Propia

El detalle de los flujos de caja calculados para cada tecnología se muestra en los Anexos 1, 2 y 3 considerando el uso de BdC, caldera de condensación y calefón de condensación respectivamente.

Por último, es necesario destacar que en el presente análisis no se incluyen márgenes de seguridad en el monto de la inversión.

### Estimación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Una variable de interés para Antucoya a la hora de evaluar entre las opciones propuestas es la cantidad de emisiones que cada una de ellas genera, asociado a su consumo energético.

Para ello, se consultó en literatura y plataformas del gobierno sobre los factores de emisión correspondientes a los usos de los recursos energéticos. Para la energía eléctrica se tiene un factor de

<sup>8</sup> Para calcular el VAN se utilizó una tasa de descuento del 10%

emisión GEI de 0,4187 tCO<sub>2</sub>eq/MWh para el sistema eléctrico nacional durante el año 2018<sup>9</sup>. Para el uso de gas licuado de petróleo (GLP) se tiene un factor de emisión GEI de 0,2274 tCO<sub>2</sub>eq/MWh<sup>10</sup>.

**Tabla 7:** Emisiones de GEI por tecnología.

Ítem	Bomba de calor	Caldera de condensación	Calefón de condensación	Calefactores
Recurso energético	Electricidad	Gas licuado de petróleo	Gas licuado de petróleo	Electricidad
Factor de emisión	0,4187 tCO <sub>2</sub> eq/MWh	0,2274 tCO <sub>2</sub> eq/MWh	0,2274 tCO <sub>2</sub> eq/MWh	0,4187 tCO <sub>2</sub> eq/MWh
Consumo energía primaria (MWh/año)	492,1	1.443,1	1.370,7	1.521,9
Emisiones de gases de efecto invernadero (tCO <sub>2</sub> /año)	206,03	328,15	311,7	637,22

Fuente: Ministerio de Energía, 2020. IPCC, 2006.

## Resumen

A modo de síntesis, se presentan los principales resultados de esta primera evaluación para facilitar la comparación entre las tecnologías.

**Tabla 8:** Resumen del análisis financiero contrastado con el escenario base.

Tecnología	VAN	IVAN	TIR	Payback (años)
Bomba de calor	\$401.198.644	2,4	54,29%	1,82
Caldera de condensación	\$73.623.290	0,7	24,06%	3,7
Calefón de condensación	\$230.950.257	49,4	820,21%	0,12

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 9:** Resumen de atributos de interés para la priorización de las tecnologías.

Tecnología	CAPEX	OPEX	Emisiones GEI tCO <sub>2</sub> eq/anales	Eficiencia energética	Dificultad del mantenimiento <sup>11</sup>
Calefactores	\$102.311.209	\$192.852.243	637,22	97%	Baja
Bomba de calor	\$270.888.873	\$100.123.773	206,03	300%	Normal-Alta

<sup>9</sup> Ministerio de Energía, 2020. Indicadores Ambientales – Factores de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional

<sup>10</sup> IPCC, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies. AR5

<sup>11</sup> Se refiere al esfuerzo en trabajo en realizar la mantención, considerando la cantidad de equipos instalados, a la sensibilidad y el número de partes y piezas de estos.

Caldera de condensación	\$211.892.825	\$163.036.488	328,15	102%	Normal
Calefón de condensación	\$106.986.443	\$154.505.279	311,7	108%	Baja

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. Resultados segunda evaluación

De la primera evaluación, la tecnología seleccionada para la producción de ACS son las BdC. En esta segunda evaluación, se analizó el efecto (económico y ambiental) que tendría la incorporación de paneles solares térmicos como apoyo al sistema de producción de ACS.

Dentro del sistema de producción de ACS, la función que tienen los termopaneles es la de precalentar el agua previo al ingreso de la bomba de calor, y de esta manera reducir la demanda energética por concepto de aumento de temperatura.

#### 4.3.1. Escenarios de aporte de energía solar

Para evaluar el efecto de complementar el uso de BdC con termopaneles, se generarán distintos escenarios de aporte solar a la disminución de la demanda de energía para la producción de ACS dada las condiciones del sistema. Cabe señalar, que el aporte solar está directamente relacionado a la superficie de paneles que se vaya a utilizar.

- Escenario 1 - Aporte solar de un 20%: Este escenario se genera para evaluar un bajo porcentaje de aporte solar. Para este aporte solar se requiere una superficie de paneles solares de 178 m<sup>2</sup>.
- Escenario 2 - Aporte solar de un 41%: Este escenario considera un IVAN igual a 1, que se traduce en aporte 1:1 al VAN por cada peso invertido en el proyecto, en otras palabras, significa una ganancia de un peso por cada peso invertido. Esta medida de evaluación permite seleccionar proyectos cuando no hay recursos suficientes para implementarlos todos, o en su totalidad.
- Escenario 3 - Aporte solar de un 65%: Este escenario toma como referencia la antigua ley 20.365, que ordenaba un aporte solar mínimo de 65% para la segunda región para que las empresas fueran beneficiarios del crédito por Sistemas Solares Térmicos (SST) que establecía una franquicia tributaria.
- Escenario 4 - Aporte solar de un 77%: Este escenario considera el tope de energía solar para que no existan situaciones donde se produzca más energía de la que se requiere en los meses donde la radiación solar es máxima, para nuestro caso, corresponde al mes de febrero.

**Tabla 10:** Resumen de escenarios de aporte solar de los Sistemas Solares Térmicos.

Escenarios	Aporte solar (%)	Superficie de paneles solares (m <sup>2</sup> )
1	20%	178
2	41%	364
3	65%	578
4	77%	684

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2. Modelación

Para evaluar el aporte de los paneles solares térmicos a la producción de ACS mediante Bdc se utilizó como base la misma modelación de la primera modelación. A esta nueva consideración, se le agregan variables meteorológicas, especificaciones técnicas de los paneles, con el fin de obtener los ahorros energéticos que se generarían según el aporte de energía solar de los paneles.

#### Criterios de entrada adicionales

Para el desarrollo de esta evaluación, se incorporaron una serie de parámetros necesarios para obtener el rendimiento y efecto del uso de paneles solares térmicos en la producción de ACS. Estos nuevos parámetros se muestran en la Tabla 11 y Tabla 12.

**Tabla 11:** Variables meteorológicas de interés.

Mes	Radiación solar promedio (kWh/m <sup>2</sup> )	Temperatura ambiente promedio (°C)
Enero	300	19,1
Febrero	286	19,6
Marzo	243	19,2
Abril	201	19,1
Mayo	162	18,5
Junio	159	16,6
Julio	171	16,4
Agosto	198	16,2
Septiembre	244	17,7
Octubre	271	18
Noviembre	268	19
Diciembre	322	19,3

Fuente: Estación de monitoreo Antucoya

**Tabla 12:** Especificaciones técnicas y consideraciones relevantes para el uso de paneles solares térmicos

Orientación	Norte
Pérdida por sombras	0%

Eficiencia óptica	0,804
Factor global de pérdida	3,2354
Inclinación paneles	25°

Fuente: Elaboración propia. ET de los termopaneles

### Consumo de energía primaria

A partir de la demanda del sistema y de las especificaciones técnicas de los equipos de producción de ACS se calculó el consumo de energía que tendrían los distintos escenarios alternativos para satisfacer la demanda de energía. El consumo de energía primaria se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13:** Consumo de energía primaria por alternativa.

Alternativa	Consumo de energía primaria (kWh/año)
Calefactores	1.521.898
Bomba de calor	492.080
Bomba de calor E1 (aporte solar del SST 20%)	393.664
Bomba de calor E2 (aporte solar del SST 41%)	290.327
Bomba de calor E3 (aporte solar del SST 65%)	172.228
Bomba de calor E4 (aporte solar del SST 77%)	113.178

Fuente: Elaboración propia

### Análisis financiero

Bajo las mismas consideraciones del análisis financiero de la primera evaluación, se obtuvieron los costos de inversión y operación para cada uno de los escenarios propuestos, como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 14:** Costos de inversión por aportes de energía solar al sistema de producción de ACS

Ítem	Bomba de calor	Bomba de calor Escenario 1	Bomba de calor Escenario 2	Bomba de calor Escenario 3	Bomba de calor Escenario 4
Materiales y equipos mecánicos	\$174.999.240	\$240.221.372	\$308.704.610	\$386.971.167	\$426.104.446
Materiales tablero de fuerza y control	\$21.516.300	\$26.516.300	\$26.516.300	\$26.516.300	\$26.516.300
Mano de obra	\$63.573.333	\$75.573.333	\$75.573.333	\$75.573.333	\$75.573.333
<b>Total instalación</b>	<b>\$260.088.873</b>	<b>\$342.311.005</b>	<b>\$410.794.243</b>	<b>\$489.060.800</b>	<b>\$528.194.079</b>



Ítem	Bomba de calor	Bomba de calor Escenario 1	Bomba de calor Escenario 2	Bomba de calor Escenario 3	Bomba de calor Escenario 4
Ingeniería de detalle y documentación	\$10.800.000	\$10.800.000	\$10.800.000	\$10.800.000	\$10.800.000
<b>Total desarrollo del proyecto</b>	<b>\$10.800.000</b>	<b>\$10.800.000</b>	<b>\$10.800.000</b>	<b>\$10.800.000</b>	<b>\$10.800.000</b>
<b>Total proyecto inversión</b>	<b>\$270.888.873</b>	<b>\$353.111.005</b>	<b>\$421.594.243</b>	<b>\$499.860.800</b>	<b>\$538.994.079</b>
<b>Total proyecto inversión (USD)</b>	<b>US\$338.611</b>	<b>US\$441.389</b>	<b>US\$526.993</b>	<b>US\$624.826</b>	<b>US\$673.743</b>

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar, que al igual que en la primera evaluación, el presente análisis financiero no considera la ejecución de obras civiles necesarias para acondicionar la sala de producción de ACS (bases de cemento y recinto) durante la fase construcción. Tampoco se consideran los gastos generales necesarios para la operación a la interior de la minera por parte de la empresa contratista (seguridad, movilización, entrega de EPP, exámenes, entre otros), y tampoco la utilidad de la empresa que desarrolle la solución.

**Tabla 15:** Costos de operación por aportes de energía solar al sistema de producción de ACS

Ítem	Bomba de calor	Bomba de calor Escenario 1	Bomba de calor Escenario 2	Bomba de calor Escenario 3	Bomba de calor Escenario 4
Costo energía	\$58.062.342	\$50.622.300	\$42.810.255	\$33.882.205	\$29.418.179
Costo potencia	\$14.192.246	\$14.192.246	\$14.192.246	\$14.192.246	\$14.192.246
Costo mantenimiento	\$27.869.184	\$30.002.224	\$32.241.915	\$34.801.563	\$36.081.387
<b>Total costos de operación anuales</b>	<b>\$100.123.773</b>	<b>\$94.816.770</b>	<b>\$89.244.417</b>	<b>\$82.876.014</b>	<b>\$79.691.812</b>
<b>Total costos de operación anuales</b>	<b>US\$125.155</b>	<b>US\$118.521</b>	<b>US\$111.556</b>	<b>US\$103.595</b>	<b>US\$99.615</b>

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, a partir de los costos de inversión y operación se construyeron los flujos de caja para calcular el VAN, IVAN, TIR y Payback para cada una de las tecnologías<sup>12</sup>. El resumen de los datos financieros obtenidos se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16:** Resumen del análisis financiero para el uso de bombas de calor con y sin aporte de energía por termopaneles.

<sup>12</sup> Para calcular el VAN se utilizó una tasa de descuento del 10%

Ítem	Bomba de calor	Bomba de calor Escenario 1	Bomba de calor Escenario 2	Bomba de calor Escenario 3	Bomba de calor Escenario 4
Inversión	\$270.888.873	\$353.111.005	\$421.594.243	\$499.860.800	\$538.994.079
Costo total operación	\$100.123.773	\$94.816.770	\$89.244.417	\$82.876.014	\$79.691.812
Diferencia de inversión sobre caso base	\$168.577.664	\$250.799.796	\$319.283.034	\$397.549.591	\$436.682.870
VAN	\$401.198.644	\$351.585.746	\$317.342.204	\$278.206.727	\$258.638.988
IVAN (Razón entre el VAN y la inversión)	2,38	1,4	1	0,7	0,59
TIR	54,29%	34,47%	30,12%	24,6%	22,51%
Retorno inversión	1,82 años	2,56 años	3,08 años	3,61 años	3,86 años

Fuente: Elaboración Propia

El detalle de los flujos de caja calculados para cada alternativa se muestra en los Anexos.

Por último, es necesario destacar que el presente análisis no incluye márgenes de seguridad en el monto de la inversión.

### Estimación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Al igual que en la primera evaluación, se estimaron las emisiones de GEI asociadas a cada escenario de aporte solar según su consumo de energía primaria.

**Tabla 17:** Emisiones de GEI de las alternativas estudiadas según distintos aportes de energía solar.

Ítem	Bomba de calor	Bomba de calor	Bomba de calor	Bomba de calor	Bomba de calor
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Aporte solar	0%	20%	41%	65%	77%
Consumo energía primaria (MWh/anual)	492,1	393,66	290,33	172,23	113,18
Emisiones de gases de efecto invernadero (tCO2/anual)	206,03	164,83	121,56	72,11	47,39

Fuente: Ministerio de Energía, 2020.

### Resumen

A continuación, se presentan los principales resultados de la segunda evaluación.

**Tabla 18:** Resumen del análisis financiero de las alternativas contrastado con el escenario base.

Alternativa	VAN	IVAN	TIR	Payback (años)
Bomba de calor	\$401.198.644	2,38	54,29%	1,82
Bomba de calor E1 (aporte solar del SST 20%)	\$351.585.746	1,4	34,47%	2,56
Bomba de calor E2 (aporte solar del SST 41%)	\$317.342.204	1,0	30,12%	3,08
Bomba de calor E3 (aporte solar del SST 65%)	\$278.206.727	0,7	24,60%	3,61
Bomba de calor E4 (aporte solar del SST 77%)	\$258.638.870	0,59	22,51%	3,86

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 19:** Resumen de atributos de interés para la priorización de las alternativas.

Alternativa	CAPEX	OPEX	Emisiones GEI tCO2eq/ anuales	Eficiencia energética <sup>13</sup>	Dificultad del mantenimiento <sup>14</sup>
Calefactores	\$102.311.209	\$192.852.243	637,22	97%	Baja
Bomba de calor	\$270.888.873	\$100.123.773	206,03	300%	Normal-Alta
Bomba de calor E1 (aporte solar del SST 20%)	\$353.111.005	\$94.816.770	164,83	375%	Alta
Bomba de calor E2 (aporte solar del SST 41%)	\$421.594.243	\$89.244.417	121,56	508%	Alta
Bomba de calor E3 (aporte solar del SST 65%)	\$499.860.800	\$82.876.014	72,11	858%	Alta
Bomba de calor E4 (aporte solar del SST 77%)	\$538.994.079	\$79.691.812	47,39	1302%	Alta

Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que los principales beneficios del uso de paneles solares son la disminución de consumo de energía primaria, y por consiguiente, una disminución en la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Por otro lado, es necesario señalar que la alternativa que presenta el mayor payback tiene un retorno de inversión de 3,86 años, que es bajo si se compara con la vida útil del proyecto.

<sup>13</sup> La eficiencia energética de incorporación de paneles solares térmicos al sistema se calculó como la demanda de energía dividido por el consumo de energía primaria.

<sup>14</sup> Se refiere al esfuerzo en trabajo en realizar la mantención, considerando la cantidad de equipos instalados, a la sensibilidad y el número de partes y piezas de estos.

#### 4.4. Solución espacial

De las anteriores evaluaciones, se seleccionó como tecnología para la producción de ACS las Bdc con apoyo de sistemas solares térmicos, específicamente, con un aporte de energía solar del 41% a la demanda de energía por calentamiento de agua. Este aporte solar considera un indicador financiero IVAN = 1, que se traduce en un aporte 1:1 al VAN por cada peso invertido en el proyecto.

En este apartado, determinará y expondrá la mejor solución física y espacial para implementar la medida propuesta considerando la infraestructura y condiciones existentes.

##### 4.4.1. Consideraciones de los termopaneles solares.

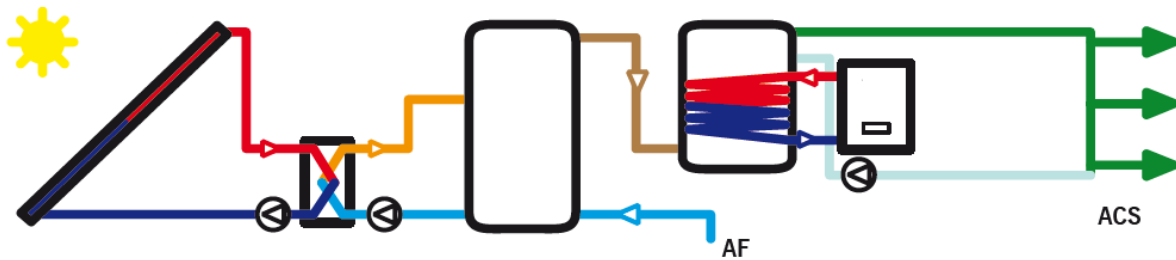
###### Sistema de producción de ACS

El sistema de producción de ACS tendrá como equipo principal las Bdc, estas tendrán el apoyo de sistemas solares térmicos que tendrán la función de precalentar el agua previo al ingreso de las Bdc, y de esta manera reducir la demanda energética por concepto de aumento de temperatura. Para esto, el sistema solar térmico transformará la energía emitida por el sol en energía térmica y la acumulará en forma de agua caliente.

El sistema para el caso de estudio estará compuesto por los siguientes subsistemas:

1. **Sistema de captación (Paneles termosolares):** Será el encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido de trabajo.
2. **Sistema de intercambio (Intercambiadores de calor):** Realizará la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo, que circula por el circuito primario, y el del circuito secundario (agua de consumo).
3. **Sistema de acumulación (Acumuladores de agua):** Almacenará el agua caliente hasta que se necesite su uso.
4. **Sistema de producción de ACS (Bombas de calor):** Serán el equipo principal en la producción de ACS, tendrán como apoyo los sistemas solares térmicos para precalentar el agua previo al ingreso de las Bdc, y así disminuir la demanda energética por concepto de aumento de temperatura.

**Figura 5:** Esquema básico del sistema de producción de ACS.



Fuente: Escobar, Encina, Jiménez, Martínez & Yañez, 2010.

### Orientación e inclinación de los termopaneles

Las máximas prestaciones energéticas se consiguen bajo ciertas condiciones de orientación e inclinación según la ubicación del proyecto.

Primero, como regla general, la mejor orientación de los paneles solares para captar la mayor cantidad de energía es el norte geográfico. También, se debe tener en consideración ubicar los paneles de tal forma que llegue la menor cantidad de sombra posible. Por último, la disposición de los paneles debe ser de tal forma que el rayo solar incida lo más perpendicular posible a la superficie del panel.

Para que los rayos solares incidan con el ángulo que maximiza la energía solar disponible hay dos elementos a considerar:

1. *Inclinación de la tierra:* La inclinación del eje de la Tierra sobre el plano de su órbita es de aproximadamente  $23,5^\circ$ .
2. *Latitud de la localidad:* La inclinación óptima de los paneles respecto al plano horizontal corresponderá a la latitud geográfica, que para Antucoya es de aproximadamente  $23^\circ$ . Sin embargo, bajo consideraciones de instalación es conveniente fijar la inclinación en  $25^\circ$ .

Cabe señalar, que la importancia de los trópicos se debe a que es un punto geográfico, en toda la superficie de la tierra, donde se logra que el rayo solar llegue perpendicular a la superficie terrestre (el 21 de diciembre). Por tanto, este será el punto de referencia para calcular el máximo aporte solar posible y así evitar sobredimensionar el sistema.

**Figura 6:** Recorrido solar en el solsticio de verano en Antucoya.



Fuente [www.sunearthtools.com](http://www.sunearthtools.com)

#### 4.4.2. Diseño espacial de las centrales de producción de Agua Caliente Sanitaria

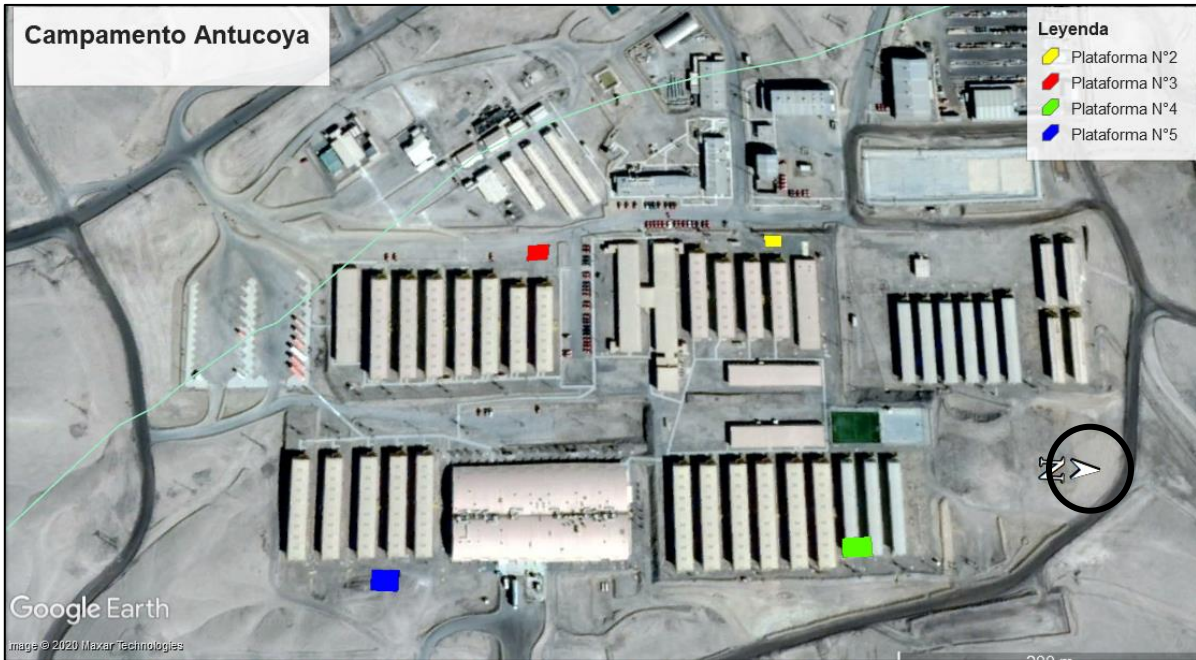
Con el afán de disminuir las potencias de bombas recirculadoras y disminuir las pérdidas energéticas asociadas por recirculación (pérdidas por transporte), se optará por abastecer cada plataforma con una central independiente de producción de ACS, como se muestra en la Figura 7.

Para la instalación de las centrales de producción de ACS no se utilizarán instalaciones existentes principalmente debido a condiciones técnicas y de seguridad, específicamente:

- Se desconoce si la infraestructura de los pabellones soportará el peso de los paneles, y además, no se tiene acceso al techo.
- La sala de caldera de los pabellones no tiene las dimensiones y necesidades mínimas requeridas (altura interior insuficiente en las actuales salas).

Por tanto, se deberá construir nueva infraestructura para implementar la solución propuesta o analizar un acondicionamiento de los actuales pabellones. Cabe señalar, que las potenciales ubicaciones de las centrales fueron recomendaciones del Administrador de Servicios a Personas de Antucoya durante la visita a terreno.


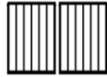
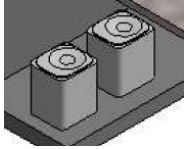

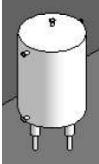

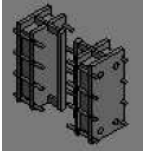
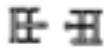
**Figura 7:** Ubicación de las centrales dentro del Campamento Antucoya



Fuente: Elaboración Propia

Los principales equipos que se encontrarán en cada una de las centrales de producción de ACS, son los paneles termosolares, BdC, acumuladores de agua e intercambiadores de calor. Los principales equipos junto a sus planos isométricos y vistas en planta se muestran en la Tabla 20.

**Tabla 20:** Plano isométrico y vista en planta de los principales equipos para la producción de ACS

Equipo	Plano isométrico	Vista en planta
Panel termosolar		
Bombas de calor		
Acumuladores de agua		
Intercambiadores de calor		

Fuente: Elaboración Propia

**Central de producción de ACS Plataforma N°2**

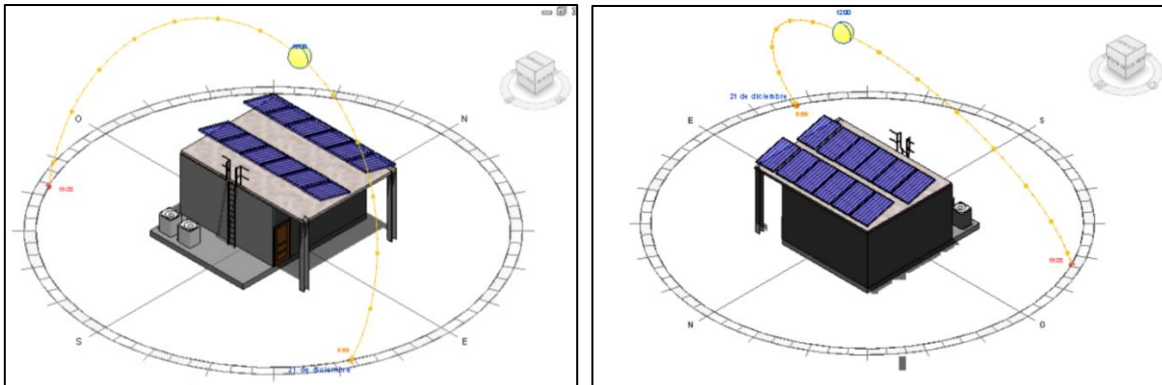
La central de producción ACS que abastecerá a los pabellones de la plataforma N°2 estará ubicada al noroeste del campamento Antucoya con una dimensión de 6x8 metros.

**Figura 8:** Central de producción Plataforma N°2



Fuente: Elaboración Propia

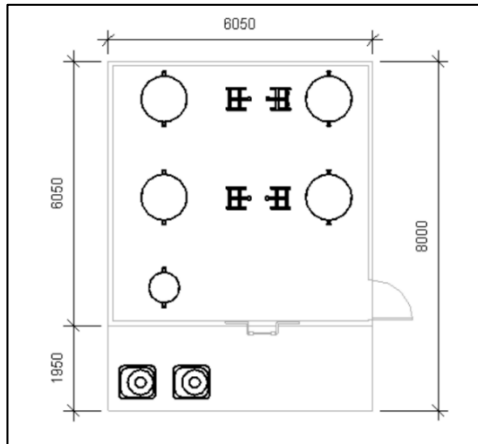
**Figura 9:** Planos isométricos de la central de producción Plataforma N°2



Fuente: Elaboración Propia

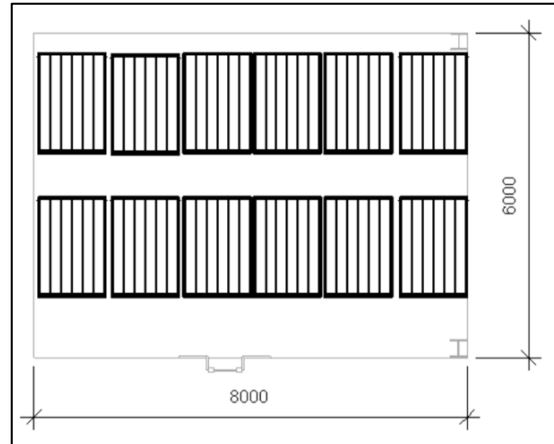


**Figura 10:** Vista de planta piso 1. Central de producción plataforma N°2.



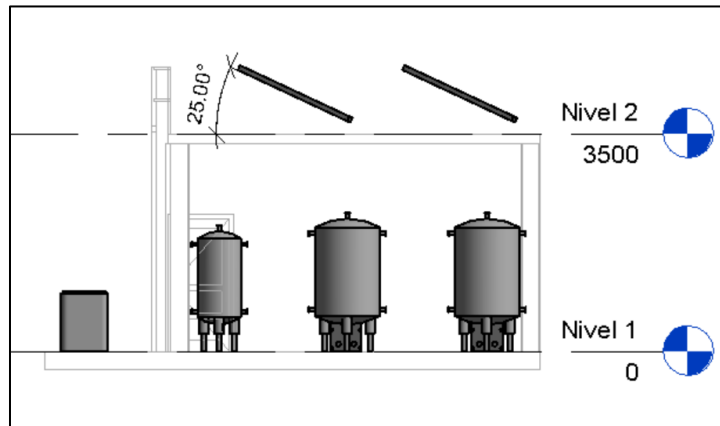
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 11:** Vista de planta piso 2. Central de producción plataforma N°2.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 12:** Plano de elevación de la central de producción plataforma N°2



Fuente: Elaboración Propia

### Central de producción de ACS Plataforma N°3

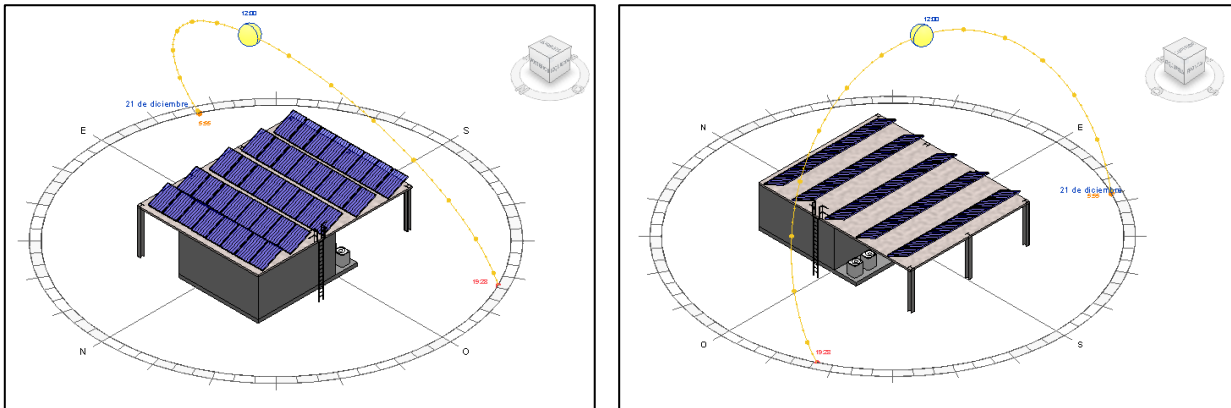
La central de producción ACS que abastecerá a los pabellones de la plataforma N°3 estará ubicada al suroeste del campamento Antucoya con una dimensión de 11x14 metros.

Figura 13: Central de producción Plataforma N°3



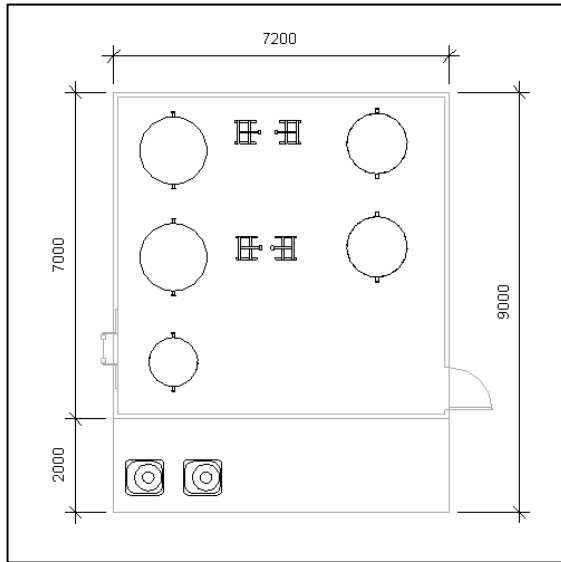
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Planos isométricos de la central de producción Plataforma N°3



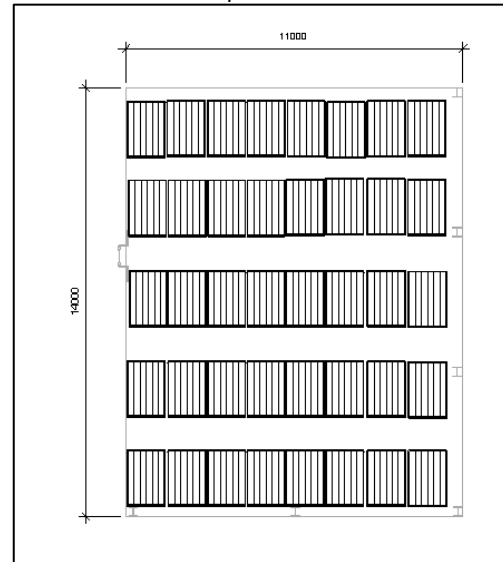
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 15:** Vista de planta piso 1. Central de producción plataforma N°3.



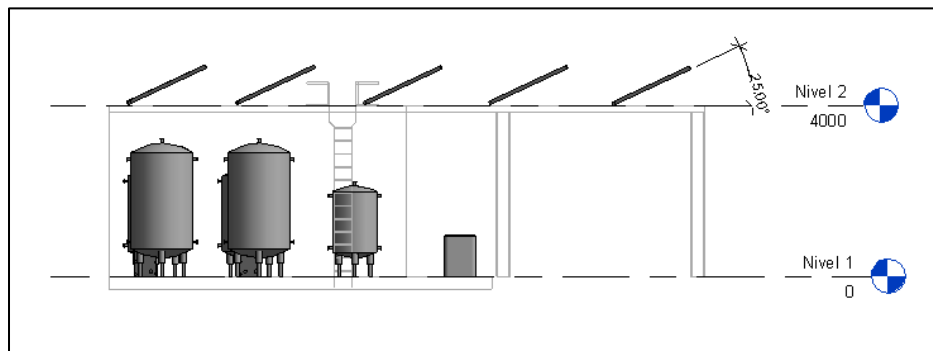
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 16:** Vista de planta piso 2. Central de producción plataforma N°3.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 17:** Plano de elevación de la central de producción plataforma N°3

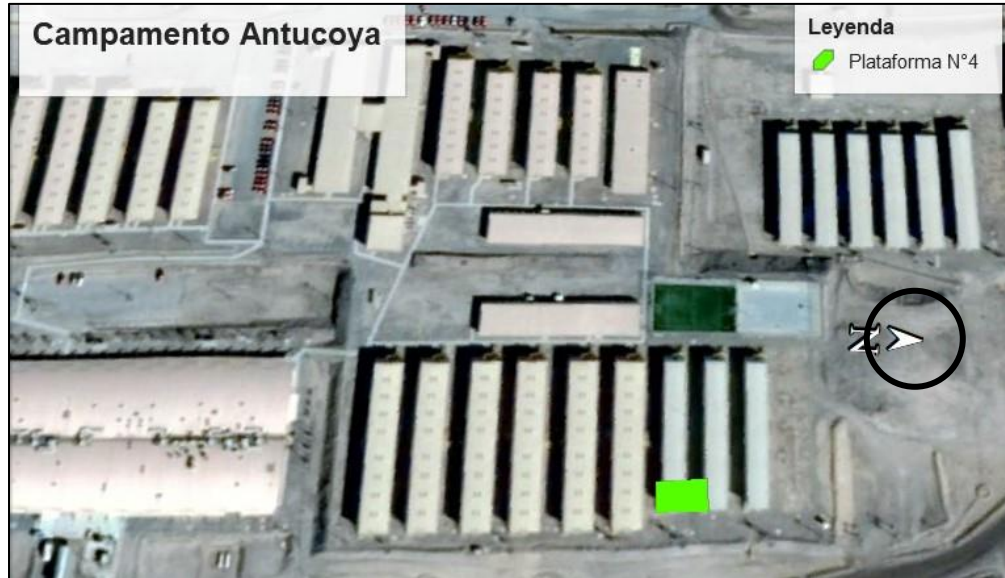


Fuente: Elaboración Propia

### Central de producción de ACS Plataforma N°4

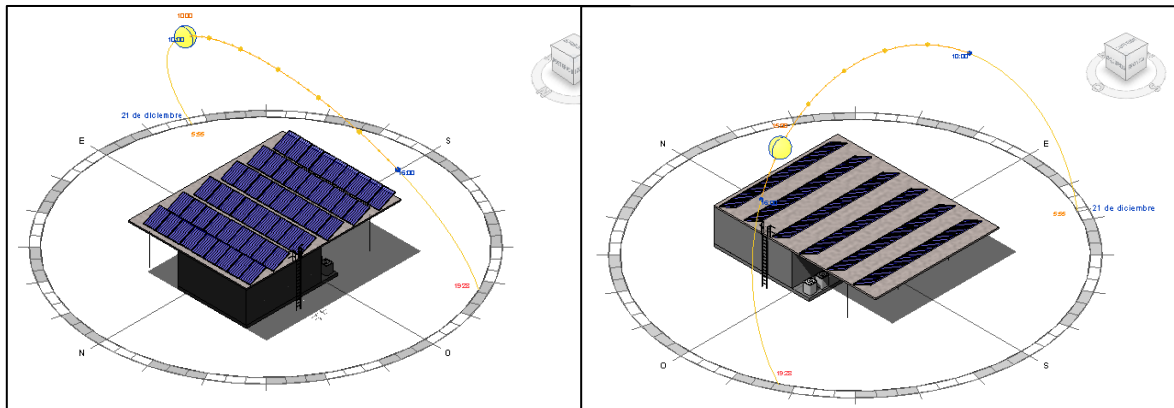
La central de producción ACS que abastecerá a los pabellones de la plataforma N°4 estará ubicada al noreste del campamento Antucoya con una dimensión de 13x17 metros.

Figura 18: Central de producción Plataforma N°4



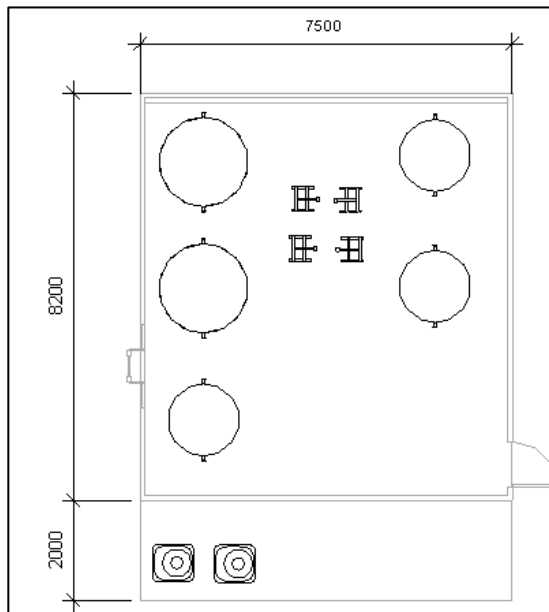
Fuente: Elaboración Propia

Figura 19: Planos isométricos de la central de producción Plataforma N°4



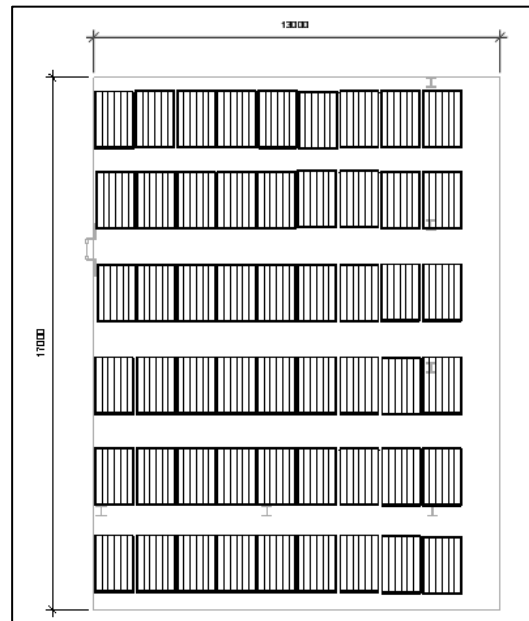
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 20:** Vista de planta piso 1. Central de producción plataforma N°4.



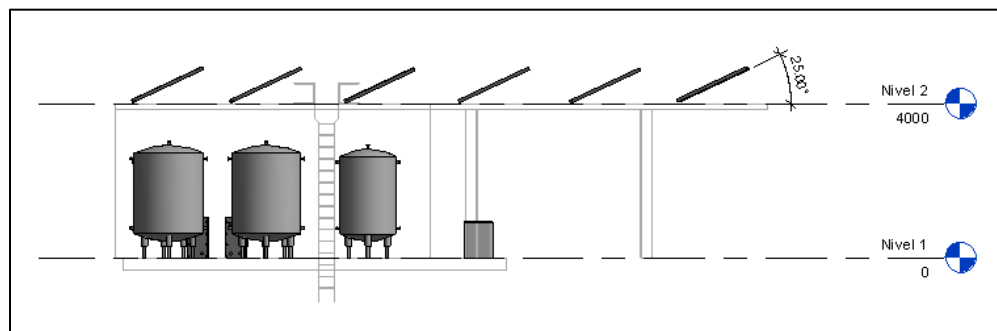
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 21:** Vista de planta piso 2. Central de producción plataforma N°4.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 22:** Plano de elevación de la central de producción plataforma N°4



Fuente: Elaboración Propia

### Central de producción de ACS Plataforma N°5

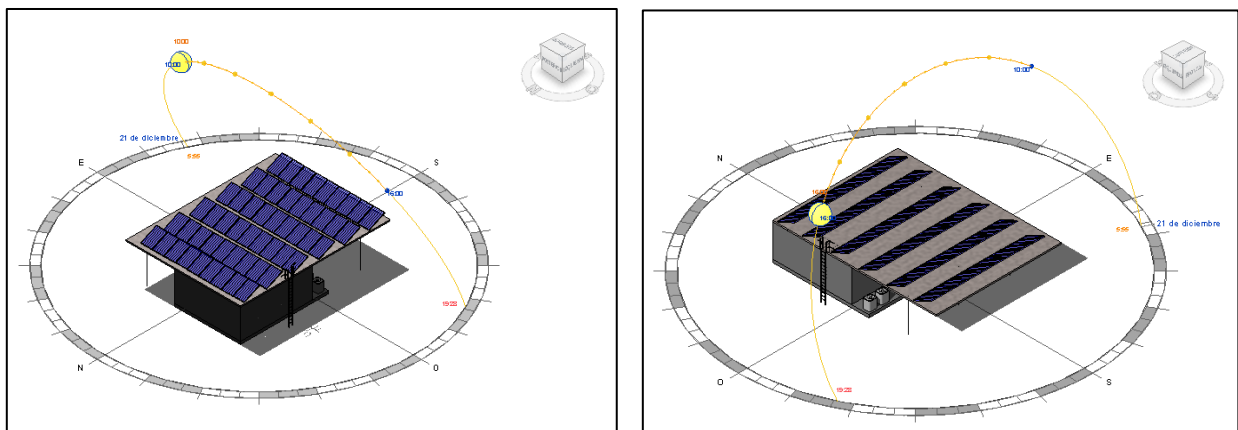
La central de producción ACS que abastecerá a los pabellones de la plataforma N°5 estará ubicada al sureste del campamento Antucoya tiene una dimensión de 13 X 17 metros.

Figura 23: Central de producción Plataforma N°5



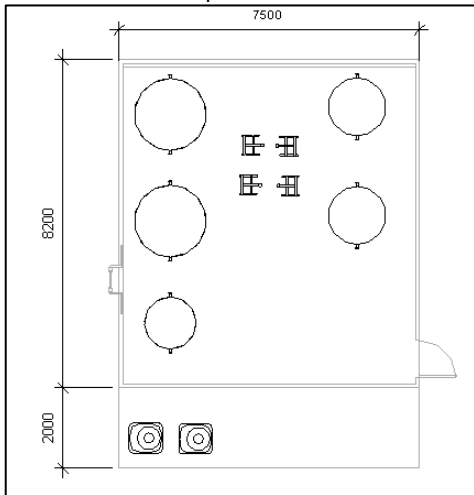
Fuente: Elaboración Propia

Figura 24: Planos isométricos de la central de producción Plataforma N°5



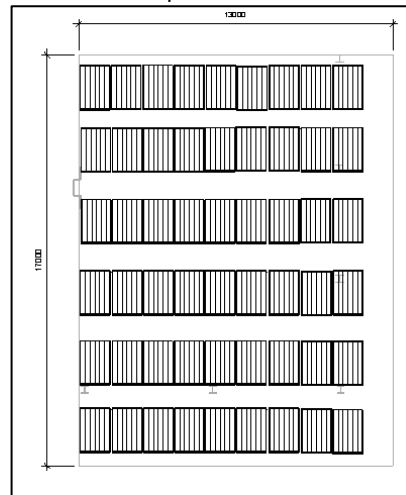
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 25:** Vista de planta piso 1. Central de producción plataforma N°5.



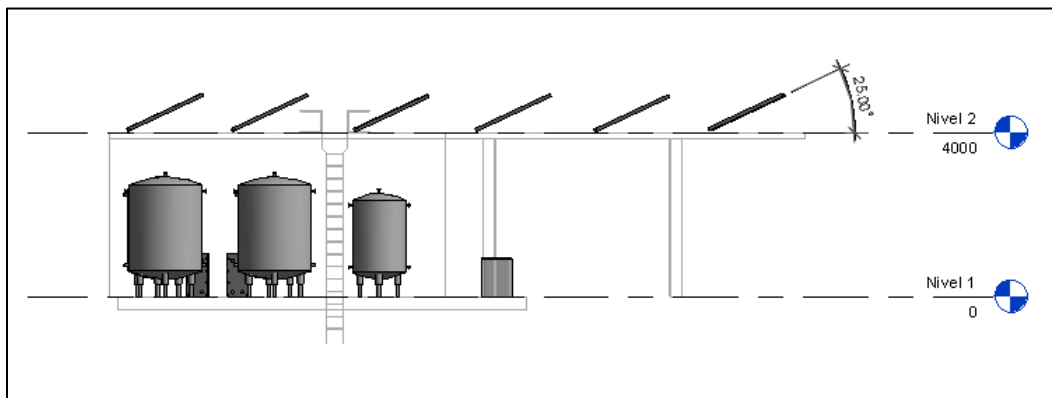
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 26:** Vista de planta piso 2. Central de producción plataforma N°5.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 27:** Plano de elevación de la central de producción plataforma N°5



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.3. Principales equipos

Cada central de producción de ACS tendrá que suplir una demanda distinta según la cantidad de personas que considera cada plataforma de alojamiento (Tabla 21) Para satisfacer dicha demanda se necesitan distintos equipos, como se menciona y cuantifica en la Tabla 22.

**Tabla 21:** Número de personas por plataforma de alojamiento

Ítem	Plataforma N°2	Plataforma N°3	Plataforma N°4	Plataforma N°5	Total
Número de personas	232	848	1.152	1.080	3.312

Fuente: Datos proporcionados por Antucoya

**Tabla 22:** Principales equipos requeridos por central de producción de ACS.

Equipo Principal	Número de equipos				Total
	Central Plataforma N°2	Central Plataforma N°3	Central Plataforma N°4	Central Plataforma N°5	
Bomba de Calor	2	2	2	2	8
Escalera	1	1	1	1	4
Acumulador 500 Litros	1	0	0	0	1
Acumulador 1.000 Litros	4	1	0	0	5
Acumulador 2.000 Litros	0	2	0	1	3
Acumulador 3.000 Litros	0	0	3	2	5
Acumulador 3.500 Litros	0	2	0	0	2
Acumulador 4.500 Litros	0	0	2	2	4
Panel térmico solar 2,5 m2	12	40	54	54	160
Intercambiadores de calor	4	4	4	4	16

Fuente: Elaboración Propia

## 5. Precertificación CAPE

CAPE es un mecanismo para la certificación de ahorros energéticos generados en un periodo de tiempo específico, como consecuencia de la implementación de un proyecto energético. La Certificación está diseñada para que empresas, instituciones, organismos o similares, que cuenten con proyectos energéticos en sus instalaciones, puedan validar mediante una metodología estandarizada las reducciones de consumo reales como consecuencia de su implementación, respecto de la línea de base definida (consumo sin proyecto de ahorro)<sup>15</sup>.

En este estudio, se definieron cimientos necesarios para construir la línea de base de consumo energético, insumo base de la precertificación CAPE. Este proceso de precertificación será completado una vez que se definan los plazos de ejecución del proyecto.

<sup>15</sup> Ver soporte en línea: <https://cape.agenciase.org/>



## 5.1. Resultados de la jornada de medición

Durante la jornada de medición en terreno, se levantó información requerida para elaborar la línea de base de consumo energético, específicamente se midieron los consumos de ACS por persona, caudales de entrada de agua fría y temperaturas en distintos puntos de referencia del sistema actual que tiene Antucoya. Estas mediciones se realizaron en el pabellón N°16, y para esto, se utilizaron medidores de flujo ultrasónicos y termocuplas con data logger. Las mediciones se hicieron en intervalos de tiempos definidos, específicamente, cada 1 minuto durante 24 hrs. (940 mediciones).

Los principales resultados se muestran a continuación:

**Tabla 23:** Resultados consumo de ACS para el pabellón N°16

Ítem	Jornada noche 28-10-2020	Jornada día 29-10-2020
Personas pabellón N°16	7 personas	64 personas
Consumo ACS	299 litros	2687 litros
Consumo promedio de ACS	42,7 L/persona	42 L/persona
Porcentaje de aporte al consumo diario	10%	90%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24:** Temperaturas del agua en los acumuladores 10 y 11 de la sala de termos correspondientes al pabellón 16

Ítem	Agua fría AC10	Agua fría AC11	Agua caliente AC10	Agua caliente AC11
Temperatura promedio	46,1	41,3	62,7	62,1
Temperatura máxima	54,5	52,2	64,7	64,2
Temperatura mínima	28,2	26,6	58,1	57,8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25:** Temperaturas del agua en distintos puntos de la mezcladora correspondiente al pabellón N°16

Ítem	Entrada agua fría mezcladora	Entrada agua caliente (salida acumuladores eléctricos)	ACS
Temperatura promedio	50,3	59,5	59,9
Temperatura máxima	59,5	64,3	63,8
Temperatura mínima	33,6	49,7	49,1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26:** Temperatura ambiente en la sala de acumuladores de agua correspondientes al pabellón N°16

Ítem	Temperatura ambiente sala acumuladores de agua
Temperatura promedio	26,6
Temperatura máxima	29,8
Temperatura mínima	23,1

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar, que para tener todos los datos necesarios para elaborar la línea de base de consumo energético es necesario que Antucoya levante información respecto a la tasa de ocupación de su campamento (personas/mensual/año). Esta información debe obtenerse desde un registro histórico ya que corresponderá al parámetro de ajuste rutinario en el Plan de Medición y Verificación del mecanismo CAPE.

## 6. Conclusiones

A raíz de las evaluaciones realizadas, en el presente estudio se tomaron dos grandes decisiones bajo criterios económicos, de factibilidad y de impacto medioambiental.

1. Selección de la tecnología de producción de ACS
2. Incorporar o no el uso de paneles solares térmicos, considerando distintos escenarios de aportes de energía solar.

Como resultado de la primera evaluación, se seleccionaron las Bdc para producir ACS por ser la tecnología más eficiente en relación con su consumo energético, que se traduce también, en una menor emisión de Gases de Efecto Invernadero. Esta tecnología permite disminuir el consumo de energía primaria y la emisión de GEI en un 209%, al compararla con los calefactores eléctricos.

Cabe señalar, que las tecnologías que utilizan Gas Licuado de Petróleo (GLP) fueron descartadas por el Antucoya debido a criterios de seguridad.

Como resultado de la segunda evaluación, se seleccionó incorporar el uso de paneles solares térmicos con un aporte solar del 41% (superficie de 364 m<sup>2</sup> paneles instalados) como sistema de apoyo a la producción de ACS mediante Bdc. Esta alternativa, permite disminuir en un 41% el consumo de energía primaria y emisiones de GEI respecto a la opción que solo considera el uso de Bdc (sin la incorporación de paneles termosolares). Se destaca que la alternativa seleccionada corresponde al punto medio entre los escenarios al evaluarlos bajo criterios económicos y beneficios medioambientales.

Para implementar esta medida es necesaria la adaptación de la infraestructura existente para cumplir con criterios de diseño y de seguridad, o en su defecto, construir nuevas centrales de producción de ACS. Para efectos del presente estudio, se diseñaron 4 centrales independientes de producción de ACS que cumplen con todos los criterios técnicos y de seguridad necesarios para su correcta operación. Cabe destacar, que se propone la construcción de 4 centrales para evitar pérdidas de energía por transporte y evitar sobredimensionar el requerimiento de bombas recirculadoras de agua.

Por último, es necesario destacar que la actual política energética de Chile tiene como uno de sus desafíos tener una transición hacia una matriz energética significativamente más baja en carbono, buscando alcanzar al menos un 30% de reducción de intensidad de emisiones de GEI al 2030 según los compromisos internacionales adquiridos. También, uno de sus objetivos al 2035, es que sectores intensivos en el consumo de energía, como son la industria y minería, hagan un uso eficiente de la

energía a través de la implementación de activas mejoras de eficiencia energía<sup>16</sup>. Estos objetivos establecidos en la política energética se correlacionan con la actual alternativa seleccionada para producir ACS, ya que las BdC son una tecnología altamente eficiente, que permite disminuir el consumo de energía y disminuir las emisiones de GEI. Además, al incorporar paneles solares térmicos se tiene el apoyo de energías renovables que favorecen la reducción de consumo de energía eléctrica, y por consiguiente, de disminuyen las emisiones de GEI.

---

<sup>16</sup> Ministerio de energía, 2015. Política energética de Chile, Proceso energía 2050.

## 7. Bibliografía

- [1] Fuster, Harfagar, Jofré & Soto, 2020. Bombas de calor, una guía para el usuario. Proyecto de Apoyo a la NAMA “Energías Renovables para el Autoconsumo en Chile”. Disponible en <https://4echile-datastore.s3.eu-central-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/10/05150539/Gu%C3%ADa-Bombas-de-Calor.pdf>
- [2] Consejo minero, 2019. Posición y compromiso del sector minero chileno en el contexto de la COP 25. Disponible en <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/09/Cambio-Climatico-Sonami-CM-Aprimin.pdf>
- [3] Revistaei, 2019. Las 10 mineras con mayor consumo eléctrico en MWh. Disponible en <https://www.revistaei.cl/reportajes/las-10-mineras-con-mayor-consumo-electrico-en-mwh/>
- [4] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2019. Proyecto: Eficiencia energética en la minería <https://4echile.cl/lineas-trabajo/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-la-mineria/>
- [5] Antofagasta Minerals, 2019. Reporte de avance del convenio de cooperación entre ministerio de energía y consejo minero. Disponible en <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/08/Antofagasta-Minerals-2018.pdf>
- [6] Asociación de Empresas de Servicios Energéticos, s.f. Metodología IPMVP (EVO World)
- [7] Ministerio de Energía, 2020. Indicadores Ambientales – Factores de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional. Disponible en <https://energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>
- [8] IPCC, Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan
- [9] Martínez, J. C., Yáñez, C., Escobar, R., Encina, S., & Jiménez, P. (2010). Sistemas Solares térmicos II, Guía de *diseño* e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria. *Maval Ltda. Recuperado de* <http://www.programasolar.cl/images/pdfs/MANUAL/gua%20de%20diseo%20y%20>
- [10] Ministerio de energía, 2015. Política energética de Chile, Proceso energía 2050. Disponible en [https://energia.gob.cl/sites/default/files/energia\\_2050\\_-\\_politica\\_energetica\\_de\\_chile.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf)

## 8. Anexos

### Anexo 1: Flujo de caja considerando bombas de calor

Ítem		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1</b>	<b>Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1	(+)Ingresos disminución costo energía		\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157	\$56.993.157
1.2	(+)Ingresos disminución costo potencia		\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497
1.3	(+)Ingresos disminución costo manteni- miento		\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816	\$6.128.816
<b>2</b>	<b>Inversión del proyecto</b>											
2.1	Materiales y equipos mecánicos	-\$72.688.031										
2.2	Materiales tablero de fuerza y control	-\$21.516.300										
2.3	Mano de obra	-\$63.573.333										
2.4	Ingeniería de detalle y documentación	-\$10.800.000										
<b>3</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>-\$168.577.664</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>	<b>\$92.728.470</b>
	<b>VAN</b>	<b>\$401.198.644</b>										
	<b>IVAN</b>	<b>2,38</b>										
	<b>TIR</b>	<b>54,29%</b>										
	<b>Payback (años)</b>	<b>1,82</b>										

**Anexo 2: Flujo de caja considerando caldera de condensación**

Ítem		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1</b>	<b>Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1	(+)Ingresos disminución costo energía		-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460	-\$22.102.460
1.2	(+)Ingresos disminución costo potencia		\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743
1.3	(+)Ingresos disminución costo mantenimiento		\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472	\$8.119.472
<b>2</b>	<b>Inversión del proyecto</b>											
2.1.	Materiales y equipos mecánicos	-\$36.031.679										
2.2.	Materiales tablero de fuerza y control	-\$19.763.270										
2.3.	Mano de obra	-\$42.986.667										
2.4.	Ingeniería de detalle y documentación	-\$10.800.000										
<b>3</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>-\$109.581.616</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>	<b>\$29.815.755</b>
	<b>VAN</b>	<b>\$73.623.290</b>										
	<b>IVAN</b>	<b>0,67</b>										
	<b>TIR</b>	<b>24,06%</b>										
	<b>Payback (años)</b>	<b>3,7</b>										

**Anexo 3: Flujo de caja considerando calefón de condensación**

Ítem		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1</b>	<b>Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1	(+)Ingresos disminución costo energía		-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459	-\$15.225.459
1.2	(+)Ingresos disminución costo potencia		\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743	\$43.798.743
1.3	(+)Ingresos disminución costo manteni- miento		\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680	\$9.773.680
<b>2</b>	<b>Inversión del proyecto</b>											
2.1.	Materiales y equipos mecánicos	\$36.439.993										
2.2.	Materiales tablero de fuerza y control	-\$10.798.560										
2.3.	Mano de obra	-\$23.146.667										
2.4.	Ingeniería de detalle y documentación	-\$7.170.000										
<b>3</b>	<b>Flujo de caja</b>	-\$4.675.234	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964	\$38.346.964
	<b>VAN</b>	<b>\$230.950.257</b>										
	<b>IVAN</b>	<b>49,4</b>										
	<b>TIR</b>	<b>820,21%</b>										
	<b>Payback (años)</b>	<b>0,12</b>										



**Anexo 4: Flujo de caja considerando bombas de calor con un aporte solar del 20%**

Ítem		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1</b>	<b>Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1	(+)Ingresos disminución costo energía		\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200	\$64.433.200
1.2	(+)Ingresos disminución costo potencia		\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497
1.3	(+)Ingresos disminución costo mantenimiento		\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776	\$3.995.776
<b>2</b>	<b>Inversión del proyecto</b>											
2.1.	Materiales y equipos mecánicos	-\$137.910.163										
2.2.	Materiales tablero de fuerza y control	-\$26.516.300										
2.3.	Mano de obra	-\$75.573.333										
2.4.	Ingeniería de detalle y documentación	-\$10.800.000										
<b>3</b>	<b>Flujo de caja</b>	-\$250.799.796	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473	\$98.035.473
	<b>VAN</b>	<b>\$351.585.746</b>										
	<b>IVAN</b>	<b>1,4</b>										
	<b>TIR</b>	<b>37,47%</b>										
	<b>Payback</b>	<b>2,56</b>										

**Anexo 5: Flujo de caja considerando bombas de calor con un aporte solar del 41%**

Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1 Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1 (+)Ingresos disminución costo energía		\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244	\$72.245.244
1.2 (+)Ingresos disminución costo potencia		\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497
1.3 (+)Ingresos disminución costo mantenimiento		\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085	\$1.756.085
<b>2 Gasto desarrollo proyecto</b>											
2.1 Materiales y equipos mecánicos	-\$206.393.401										
2.2 Materiales tablero de fuerza y control	-\$26.516.300										
2.3 Mano de obra	-\$75.573.333										
2.4 Ingeniería de detalle y documentación	-\$10.800.000										
<b>3 Flujo de caja</b>	<b>-\$319.283.034</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>	<b>\$103.607.826</b>
<b>VAN</b>	<b>\$317.342.204</b>										
<b>IVAN</b>	<b>1,0</b>										
<b>TIR</b>	<b>30,12%</b>										
<b>Payback</b>	<b>3,08</b>										

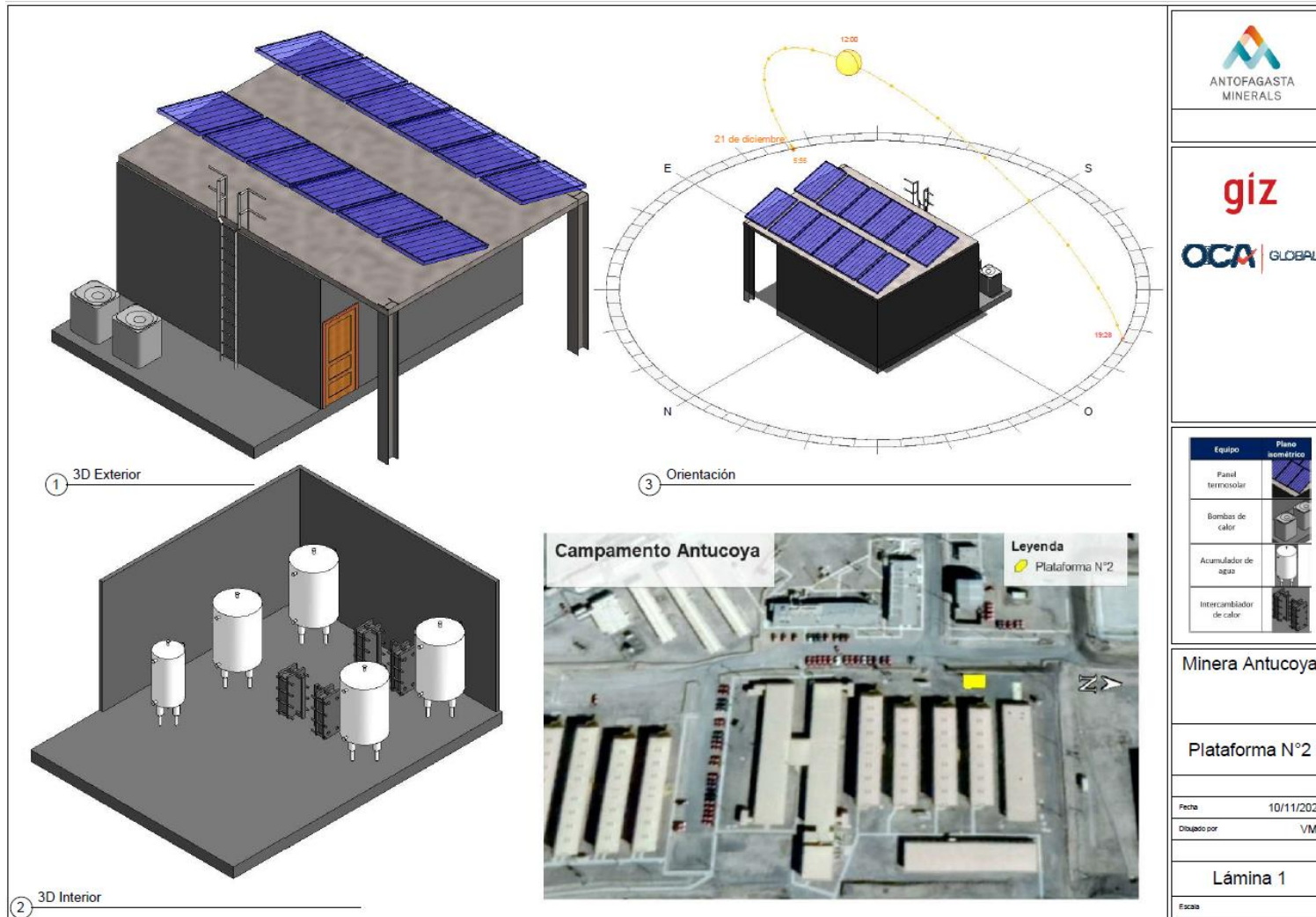
**Anexo 6: Flujo de caja considerando bombas de calor con un aporte solar del 65%**

Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1 Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1 (+)Ingresos disminución costo energía		\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295	\$81.173.295
1.2 (+)Ingresos disminución costo potencia		\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497
1.3 (+)Ingresos disminución costo mantenimiento		-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563	-\$803.563
<b>2 Inversión del proyecto</b>											
2.1. Materiales y equipos mecánicos	- \$284.659.958										
2.2. Materiales tablero de fuerza y control	-\$26.516.300										
2.3. Mano de obra	-\$75.573.333										
2.4. Ingeniería de detalle y documentación	-\$10.800.000										
<b>3 Flujo de caja</b>	- \$397.549.591	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229	\$109.976.229
<b>VAN</b>	\$278.206.727										
<b>IVAN</b>	0,7										
<b>TIR</b>	24,60%										
<b>Payback</b>	3,61										

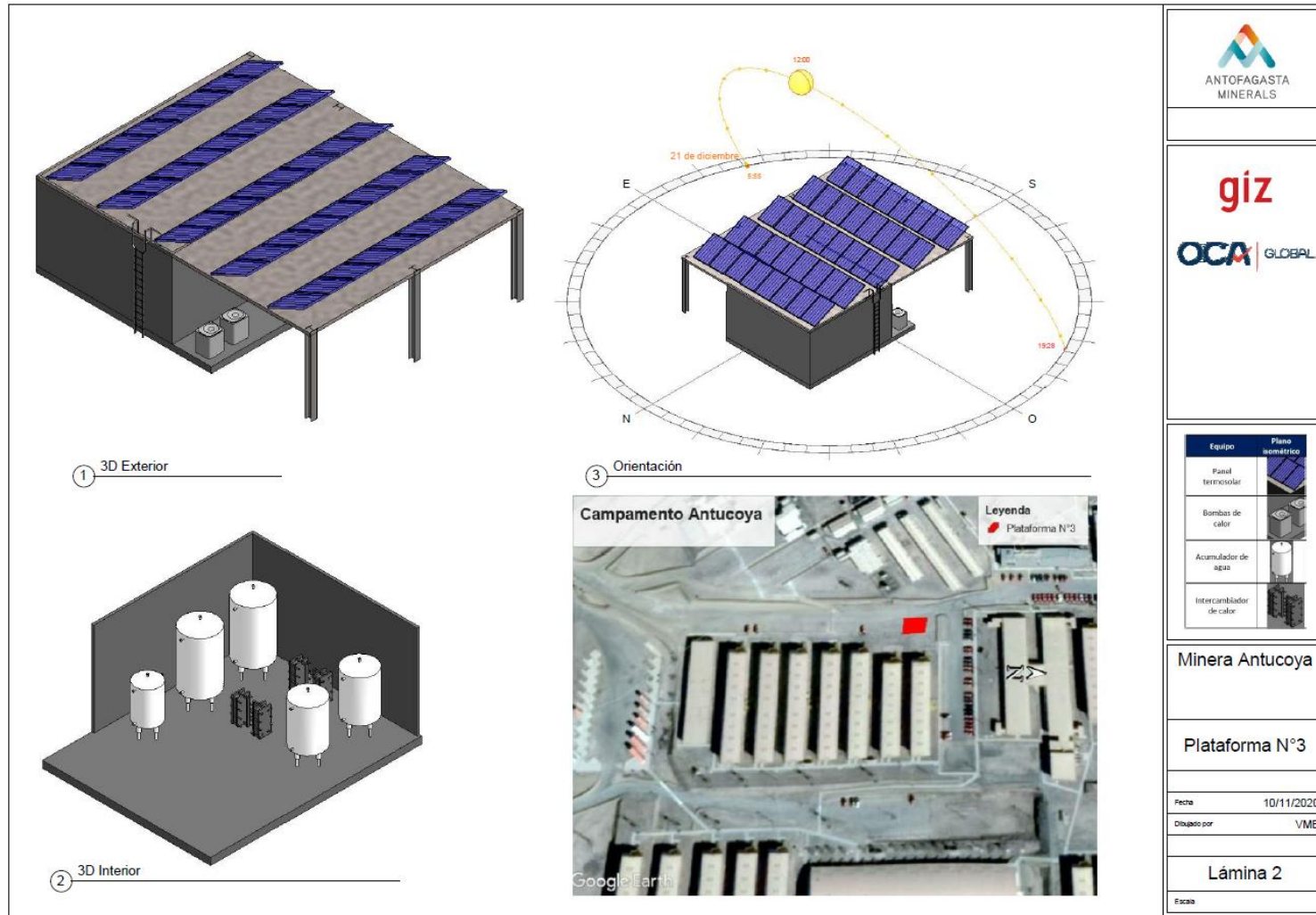
**Anexo 7: Flujo de caja considerando bombas de calor con un aporte solar del 77%**

Ítem		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>1</b>	<b>Ingresos (ahorros) operacionales</b>											
1.1	(+)Ingresos disminución costo energía		\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320	\$85.637.320
1.2	(+)Ingresos disminución costo potencia		\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497	\$29.606.497
1.3	(+)Ingresos disminución costo mantenimiento		-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387	-\$2.083.387
<b>2</b>	<b>Inversión del proyecto</b>											
2.1.	Materiales y equipos mecánicos	-\$323.793.237										
2.2.	Materiales tablero de fuerza y control	-\$26.516.300										
2.3.	Mano de obra	-\$75.573.333										
2.4.	Ingeniería de detalle y documentación	-\$10.800.000										
<b>3</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>-\$436.682.870</b>	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430	\$113.160.430
	<b>VAN</b>	\$258.638.988										
	<b>IVAN</b>	0,6										
	<b>TIR</b>	22,51%										
	<b>Payback</b>	3,86										

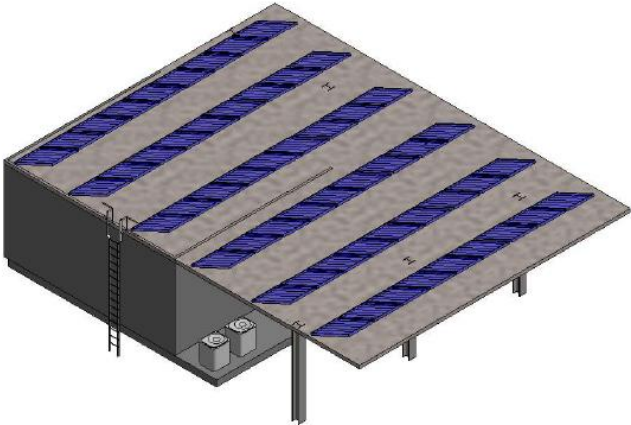
**Anexo 8: Lámina 1 - Central plataforma N°2**



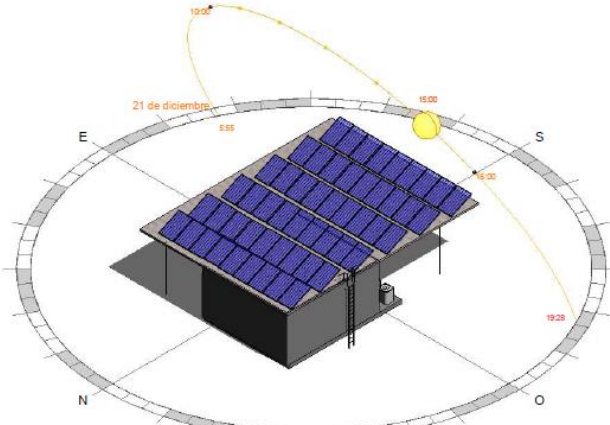
**Anexo 9: Lámina 2 - Central plataforma N°3**



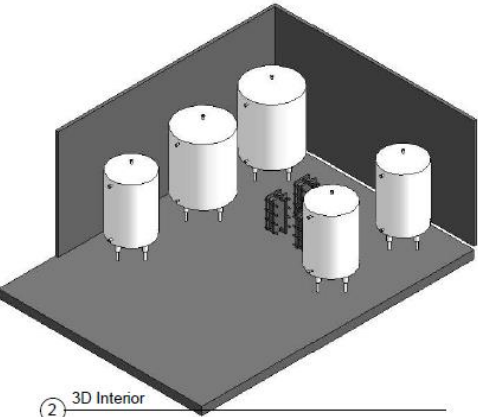
**Anexo 10: Lámina 3 - Central plataforma N°4**




① 3D Exterior



③ Orientación




② 3D Interior








**Campamento Antucoya**

**Leyenda**  
● Plataforma N°4



ANTOFAGASTA  
MINERALS



Equipo	Plano isométrico
Panel termosolar	
Bombas de calor	
Acumulador de agua	
Intercambiador de calor	

**Minera Antucoya**

**Plataforma N°4**

Fecha: 10/11/2020  
Dibujado por: VMB

**Lámina 3**

Escala:

**Anexo 11: Lámina 4 - Central plataforma N°5**

