

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA
INCORPORACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN LOS
PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES
MINERALES EN EL ECUADOR**

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA ENERGÉTICO
RENOVABLE PARA SER INCORPORADO EN LOS PROCESOS DE
PRODUCCIÓN DE COBRE DEL PROYECTO MIRADOR**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

ROBERTO IGNACIO ROMERO LOZANO

roberto.romero@epn.edu.ec

DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ

santiago.vaca@epn.edu.ec

DMQ, Febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, ROBERTO IGNACIO ROMERO LOZANO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



ROBERTO IGNACIO ROMERO LOZANO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ROBERTO IGNACIO ROMERO LOZANO, bajo mi supervisión.



Firmado electrónicamente por:
**SANTIAGO
DAVID VACA
JIMENEZ**

SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ESTUDIANTE: ROBERTO IGNACIO ROMERO LOZANO

DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ

COLABORADOR: JOSÉ LUS PALACIOS ENCALADA

DEDICATORIA

A mi padre, por inculcarme el amor por las ciencias, y por enseñarme que el estudio y adquisición de nuevos conocimientos es una actividad que debe realizarse toda la vida. Toda experiencia es un aprendizaje.

AGRADECIMIENTO

A mi madre y mis hermanas, por estar conmigo todos los días, mostrándome su apoyo y amor incondicional, y por darme las fuerzas por seguir siempre adelante todos los días.

Al resto de mi familia que, a pesar de la distancia, siempre me han dado sus motivaciones, buenos deseos y aliento para cumplir con mis objetivos.

A Stefy y a todos mis amigos, por brindarme su amistad y paciencia, para quienes no siempre he podido estar presente, pero de quienes siempre he recibido un abrazo fraterno y sincero.

Finalmente, a Santiago y José Luis, quienes me han permitido ser parte de este proyecto y cuya guía ha hecho posible la consecución de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Minería de cobre	7
1.4.2 Sistemas renovables.....	8
1.4.3 Sistema fotovoltaico	9
2 METODOLOGÍA	11
2.1 ESTABLECIMIENTO DE PROCESOS EN EL PROYECTO MIRADOR.....	13
2.1.1 Flujos de material.....	13
2.1.2 Equipos utilizados	13
2.2 Inventario Energético.....	14
2.2.1 Consumo energético anual por equipo.....	14
2.2.2 Consumo energético anual por etapas.....	15
2.3.2 Consumo energético total anual.....	15
2.3.3 Escenario de estudio	15
2.3 Diseño del sistema	16
2.3.1 Determinación de variables de entrada para la simulación	16
2.3.2 Establecimiento de la cantidad de energía a generar.....	16
2.3.3 Diseño del sistema.....	16
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	17
3.1 Resultados	17
3.1.1 Flujo de material y procesos en el proyecto Mirador	17
3.1.2 Inventario de equipos utilizados	19
3.1.3 Consumo energético anual por equipo.....	20
3.1.4 Consumo energético anual por etapa	21
3.1.5 Consumo energético total calculado vs reporte.....	22

3.1.6	Diseño de un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda total de energía estimada en el reporte técnico del proyecto Mirador	23
3.1.7	Diseño de un sistema fotovoltaico en tierra firme para cubrir parcialmente la demanda energética del proyecto Mirador	26
3.1.8	Diseño de un sistema fotovoltaico flotante para cubrir la demanda energética de la planta de procesamiento del proyecto Mirador.....	29
3.2	Discusiones	33
3.3	Conclusiones	34
3.4	Recomendaciones	35
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
5	ANEXOS.....	40

RESUMEN

Las actividades humanas generan gases de efecto invernadero que se acumulan en la atmósfera, y si no reducimos estos gases a niveles cercanos a los preindustriales, las consecuencias del cambio climático serán devastadoras. Una estas actividades es la minería. Entre los principales problemas ambientales relacionados con la minería están los altos consumos energéticos, que acarrear altas emisiones de gases de efecto invernadero y posible desabastecimiento energético para realizar otras actividades.

Ecuador ha iniciado la minería de cobre a gran escala con el Proyecto Mirador. El presente trabajo busca determinar la factibilidad de aplicar energías renovables para el procesamiento de cobre en este proyecto. Se analizan las actividades y maquinarias presentes en cada etapa de la planta de procesamiento, se realiza un listado de los equipos y un inventario energético por equipo, etapa y consumo total de la planta. Se estima el potencial de energía solar en el sector donde se ubica el proyecto, y se diseñan 3 sistemas fotovoltaicos para cubrir diferentes niveles de demanda energética.

El inventario energético muestra que la demanda energética es de 218053.31 MWh/a, siendo la etapa de molienda la de mayor consumo con 1668192 MWh/a. El potencial de energía solar del sector del proyecto es de 3.91 kW/m²/día. El diseño más factible es de 6 sistemas fotovoltaicos flotantes colocados en el depósito de relaves, el cual comprende un área de 97.89 ha (0.92% del área del proyecto) y genera 221658 MWh/a, suficiente para cubrir la demanda energética con una sobreproducción de 3604.69 MWh/a.

PALABRAS CLAVE: Proyecto Mirador, minería de cobre, energía renovable, panel fotovoltaico.

ABSTRACT

Human activities generate greenhouse gases that accumulate in the atmosphere, and if we do not reduce these gases to near pre-industrial levels, the consequences of climate change will be devastating for humanity. One such activity is mining. Among the main environmental problems related to mining are high energy consumption, which leads to high greenhouse gas emissions and possible energy shortages for other activities.

Ecuador has initiated large-scale copper mining with the Mirador Project. This work seeks to determine the feasibility of applying renewable energies for copper processing in this project. The activities and machinery present in each stage of the processing plant are analyzed, a list of the equipment and an energy inventory by equipment, stage and total consumption of the plant are made. The solar energy potential in the sector where the project is located is estimated, and three photovoltaic systems are designed to cover different levels of energy demand.

The energy inventory shows that the energy demand is 218053.31 MWh/y, with the milling stage having the highest consumption with 1668192 MWh/y. The solar energy potential of the project sector is 3.91 kW/m²/day. The most feasible design is 6 floating photovoltaic systems placed on the tailings deposit, which covers an area of 97.89 ha (0.92% of the project area) and generates 221658 MWh/y, enough to cover the energy demand with an overproduction of 3604.69 MWh/y.

KEYWORDS: Mirador Project, copper mining, renewable energy, photovoltaic panel.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El planeta Tierra actualmente pasa por una crisis medio ambiental, y se predice que, conservando los modos de producción, consumo y costumbres utilizadas actualmente, la situación sólo empeorará.

En un esfuerzo por reducir el impacto del cambio climático en años venideros, varios países y organizaciones empezarán a implementar leyes orientadas a reducir la contaminación y el consumo desmesurado de recursos.

En el área de la minería, se exigirá que los metales extraídos cumplan con estándares de responsabilidad ambiental que disminuyan el impacto de esta actividad. Una medida para lograr esta disminución es el implementar energías renovables para suplir las demandas energéticas de los procesos mineros.

El proyecto del que se desprende el presente trabajo busca estimar el potencial energético para la incorporación de energía renovable en los procesos de producción de los principales minerales en Ecuador. El potencial energético dependerá de la ubicación geográfica de cada proyecto minero, así como de las características meteorológicas de la zona. Se pretende analizar diferentes proyectos mineros en todo el Ecuador como casos de estudio separados.

El componente que se desarrolla a continuación corresponde uno de los proyectos mineros más importantes en Ecuador y que ya se encuentra en funcionamiento como lo es el Proyecto Mirador. El Proyecto Mirador es una mina de cobre a cielo abierto ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe.

Se estudiarán los procesos presentes en la explotación de cobre, la energía requerida en cada etapa, y se dimensionará un sistema de energía renovable mediante paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda de energía total o parcial de una de estas etapas o de toda la planta de procesamiento.

1.1 Objetivo general

Dimensionar un sistema de energía renovable para cubrir la demanda energética, total o parcial, de los procesos de producción de cobre del Proyecto Mirador.

1.2 Objetivos específicos

1. Establecer los procesos presentes en cada etapa del proyecto Mirador y la maquinaria utilizada en cada una de estas etapas.

2. Determinar el requerimiento de energía eléctrica en el proyecto Mirador.
3. Estimar el potencial de energía renovable no-convencional en zonas cercanas al proyecto Mirador.

1.3 Alcance

En el proyecto, primero se establecerán los procesos por los que pasa el material para convertirse de mineral de cobre a concentrado de cobre, incluyendo la maquinaria utilizada y la potencia de cada una de estas. Se considerará como mineral de cobre a la roca obtenida en la explotación de la mina a cielo abierto que se transporta en camiones hacia la trituración primaria.

Luego de esto, se evaluará el potencial de energía solar fotovoltaica existente exclusivamente en zonas cercanas al proyecto Mirador, es decir, al norte de la provincia de Zamora Chinchipe. También se establecerá el terreno con mejores condiciones topográficas para la instalación de sistemas de energía fotovoltaica dentro de la extensión de territorio que comprende el proyecto Mirador.

Finalmente, se dimensionará el sistema de energía renovable que supla de manera total o parcial una o varias de las etapas de la planta de procesamiento de cobre en el proyecto Mirador. El diseño del sistema fotovoltaico contará con componentes existentes en el mercado nacional, cuyas características serán utilizadas como base para las simulaciones que se realizarán en el software System Advisor Model (SAM).

1.4 Marco teórico

Es innegable que la actividad humana ha afectado el clima del planeta. Esta actividad ha sido responsable del incremento de la temperatura global en 1.07°C en relación con la temperatura presente en la segunda mitad del siglo XIX. También ha sido causante del aumento de precipitaciones, cambios en la salinidad del agua de los océanos, retroceso de los glaciares, aumento del nivel del mar, entre otros fenómenos. Estas alteraciones son sucesos del conocido cambio climático, que también ha causado alteraciones en la biósfera (Intergovernmental Panel on climate change, 2021).

El cambio climático se debe a un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) que se han incrementado por la actividad humana desde 1750. Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se han incrementado en una proporción casi constante de 56% cada año (Intergovernmental Panel on climate change, 2021). El efecto invernadero puede deberse a emisiones directas, cuando las actividades o procesos

realizados generan los GEI y los envían a la atmósfera, o emisiones indirectas, cuando las actividades o procesos utilizan energía, cuya generación causó emisiones de GEI a la atmósfera. En el caso de la minería, esta actividad es responsable de entre el 4% y el 7% de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, entre emisiones directas y emisiones indirectas (Delevigne et al., 2020). En un estudio realizado en 40 países, se encontró que la minería es responsable del 48.3% del incremento total anual de metano (CH₄) en la atmósfera, otro gas causante del efecto invernadero (Liu et al., 2019).

Desde finales del siglo XX los gobiernos del mundo identificaron al cambio climático como una amenaza real y empezaron a tomar acciones políticas al respecto (Alcaraz Sendra, 2021). Es por ello por lo que el 11 de diciembre de 1997, tras varias convenciones climáticas, se firma el Protocolo de Kioto en el cual 37 países industrializados y la Unión Europea se comprometen, para el periodo 2008-2012, a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 5.2% en relación con los niveles de 1990 (Alcaraz Sendra, 2021; Rodríguez León, 2005). El protocolo entró en vigor en 2005 y su segundo período de vigencia ya ha terminado. En 2015, 195 países firmaron un nuevo compromiso para enfrentar el cambio climático, el Acuerdo de París (Alcaraz Sendra, 2021). En este acuerdo se sigue manteniendo como uno de los objetivos mantener el incremento de temperatura global por debajo de los 2°C en comparación con la época preindustrial. Entre octubre y noviembre de 2021 se llevó a cabo la vigésimo sexta Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26) en Glasgow (BBC News Mundo, 2021). Entre representantes de casi 200 países se firmó un documento con los compromisos acordados durante la cumbre. Entre los principales puntos acordados está el incremento de los fondos económicos entregados por los países desarrollados para combatir el cambio climático. Otro punto acordado por los gobiernos fue el de actualizar de manera inmediata sus metas de reducción de carbono para el año 2030 (BBC News Mundo, 2021). Uno de los principales puntos fue reducir gradualmente el uso de carbón como fuente de energía y también disminuir los subsidios a los combustibles fósiles ineficientes. El acuerdo también recibió críticas por no ser legalmente vinculante, pero se resalta la existencia de un acuerdo global de esta magnitud (BBC News Mundo, 2021). A pesar de su cuestionada eficacia o no, estos acuerdos muestran el esfuerzo global por combatir el cambio climático.

A pesar de que las normativas de control de emisiones son dictadas por los gobiernos de cada país, inicialmente sus regulaciones no fueron determinantes para generar un cambio en las distintas industrias. En el caso de la industria minera, un detonante para empezar promover iniciativas de sostenibilidad fue que a nivel de sociedad civil se incrementaron las protestas y campañas en contra de la minería. Estos movimientos empezaron a afectar

la reputación de las grandes industrias mineras. En 2001 se estableció el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM por sus siglas en inglés), una organización mundial en la que se encuentran las principales compañías mineras, las cuales se unieron para definir objetivos de sostenibilidad. Una de sus principales iniciativas fue empezar a publicar reportes de sostenibilidad bajo la estructura del GRI (Global Reporting Initiative) (Fonseca et al., 2014).

La Bolsa de Metales de Londres (LME) decidió en 2019 implementar medidas más radicales en busca de una minería responsable, en lo que ha catalogado como “un paso significativo para el desarrollo de la industria de los metales basado en las responsabilidades éticas colectivas de las empresas mineras” (*LME sets out responsible sourcing requirements | London Metal Exchange*). Todas las empresas mineras registradas en su bolsa deberán cumplir con 3 requerimientos:

1. Implementar la Guía de diligencia debida para las cadenas de suministro responsable de minerales procedentes de zonas de conflicto y de alto riesgo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).
2. Certificarse con la norma ISO 14001 de sistemas de gestión ambiental o su equivalente.
3. Certificarse también con la norma ISO 45001/ OHSAS 18001 de sistemas de gestión de salud y seguridad ocupacional o su equivalente.

Las empresas tienen plazo para cumplir con estos requisitos hasta 2025 y aquellas que no lo cumplan no podrán vender dentro de esta bolsa (*Responsible sourcing | London Metal Exchange, s/f*).

Esta decisión de la Bolsa de Metales de Londres afecta particularmente al cobre debido a que es el mercado en el que más se transa este mineral. En 2006 en este lugar se negociaron el 94% de los contratos de cobre a nivel mundial (Minería chilena, 2006). Por su lado, la industria de la minería de cobre también empezó a trabajar en iniciativas de prácticas. Con el respaldo de la Asociación Internacional de Cobre (ICA por sus siglas en inglés), desde 2018 se empezó a trabajar en la iniciativa “Copper Mark” (Astudillo & Pérez, 2019). Copper Mark es un programa voluntario en el que las empresas mineras ratifican su compromiso por tener una producción responsable según los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. La entidad Copper Mark monitorea y evalúa las acciones de las empresas participantes. El objetivo del Copper Mark es evitar la redundancia de distintas

normativas por lo que tiene una matriz de equivalencias. Es por esto por lo que al estar avalado por Copper Mark, se cumplen todos los requisitos de la LME y otras normativas (*The Copper Mark*, s/f). Por ejemplo, el uso eficiente de energías limpias y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero son objetivos por cumplir para obtener la Copper Mark (*The Copper Mark*, 2020). Este mismo objetivo está enmarcado en la certificación ISO 14001 de sistemas de gestión ambiental, que como se describió anteriormente, es requisito del LME.

Sudamérica es la región más importante del mundo en cuanto a producción de cobre. En 2019 el 26.7% de la producción mundial de cobre provino de Chile, mientras que el 11.4% provino de Perú, siendo estos países el primer y segundo productor de cobre del mundo, respectivamente. En cuanto a reservas de cobre, se estima que el total mundial es de 870 millones de toneladas, de las cuales el 23% se encuentran en Chile y el 10.6% en Perú, siendo también los puestos 1 y 2 en este rubro a nivel mundial (Poveda Bonilla, 2021). Ecuador también se halla dentro del cinturón cuprífero del que Perú y Chile forman parte, por lo que se espera tenga importantes reservas de cobre. En la actualidad sólo se ha explorado el 8% del territorio en búsqueda de reservas mineras (Flores C., 2017). Tratándose específicamente del cobre, el Ecuador tenía descubierto, hasta el año 2017, reservas por 18.7 millones de t de cobre (Soria Vanegas et al., 2017).

Ecuador inició en 2019 con la minería a gran escala con los proyectos Mirador y Fruta del Norte. Se tiene planificado que en 2023 inicien actividades de explotación los proyectos Curipamba, Loma Larga y La Plata, mientras que el proyecto Cascabel iniciaría actividades en 2025 (Jácome, 2021)00. En el 2019 el sector de la minería representó el 1.64% del PIB (1176.1 millones de USD) y se espera que hasta 2025 alcance el 4% del PIB con la implementación de cuatro nuevos proyectos mineros (Jácome, 2021; MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES & VICEMINISTERIO DE MINAS, 2020) Así Ecuador apuesta cada vez más por la minería.

El primer proyecto de minería de cobre a gran escala es el Proyecto Mirador, ubicado al norte de la provincia de Zamora Chinchipe en las coordenadas 9604200 N, 785000 E, Zona UTM 17S. Cuenta con nueve concesiones contiguas con un área de 8900 Ha que cubre el área de la mina y otras dos concesiones al este de 1030 Ha destinados al área de procesamiento y almacenamiento de relaves, dando un total general de 9930 Ha de terreno (Drobe et al., 2008). Los relaves son los lodos, rocas y agua resultantes del proceso minero y que se consideran desperdicios. Para que estos relaves no generen contaminación al entrar en contacto con ríos o vegetación de la zona, se almacenan en depósitos o represas

(Arroyo Sáenz, 2017). El proyecto Mirador presenta un depósito de relaves (lodo) con una gran superficie a cielo abierto. El área total es de 3.12 km². (Piésold LLC, 2005).

El mineral presente en la mina es la calcopirita, de la cual se extrae el concentrado de cobre. Inicialmente se extraerían 181 Mt de material en los 17 años de vida que tendrá la mina con un procesamiento de material de 30000 t por día. La ley mineral para la mena es de 0.62% de cobre (Drobe et al., 2008). Las reservas estimadas del Proyecto Mirador son en total de 438 Mt en total, por lo que el mismo estudio de factibilidad de Drobe et al. (2008) habla de la posibilidad de ampliar el material procesado a 60000 t/día realizando un incremento en la cantidad de maquinaria. El 5 de marzo de 2012 Ecuacorriente, la empresa minera responsable del proyecto, y el Estado ecuatoriano firmaron el contrato de operación por la cantidad de 60000 t/día de material procesado, lo cual llevó a desarrollar nuevos estudios, como el de impacto ambiental (GESAMBCONSULT CIA. LTDA., 2019).

Los procesos mineros requieren de grandes cantidades de energía. El consumo de energía varía por el mineral a extraer, la concentración del mineral (ley), procesos utilizados, entre otros. En el año 2019, en Chile se reportó un consumo energético de 175134 TJ para producir 5.78 millones de toneladas de cobre, esta cantidad representa el 14% de la energía total utilizada en el país (Brantes Abarca & Cantallopts Araya, 2020). La cantidad de energía promedio necesaria para obtener una tonelada de cobre es de 6576 GJ, y este valor va en aumento, pues al disminuir las reservas de cobre y la ley de mina, la obtención del mineral refinado se vuelve más complicada y requiere de más energía (Palacios et al., 2019).

Según estimaciones de Drobe et al. (2008) el proyecto Mirador requiere de una potencia de trabajo de 28.8 MW, lo que supone una demanda de energía eléctrica de 205 GWh/a. Esta cantidad pueden generar un gran impacto ambiental si proviene de fuentes no renovables. Los altos consumos de energía eléctrica por parte de los proyectos mineros pueden generar desabastecimiento al resto de sectores conectados con el SNI, por ello la importancia de generación en el sitio. Particularmente el consumo energético anual del Proyecto Mirador es similar al reportado por toda la provincia del Cañar en el año 2019 (207 GWh/a) y mayor al de las provincias de Bolívar, Carchi, Galápagos, Morona Santiago, Napo, Orellana y Pastaza (Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2021).

Se espera que el proyecto se abastecerá de energía mediante su conexión al Sistema Nacional Interconectado (SNI) (Piésold LLC, 2005), que mayoritariamente es hidroeléctrico (77.3%), pero que parte de su generación proviene de la quema de combustibles fósiles (20.1%), por lo que su utilización tiene un impacto ambiental.

En Chile ya se ha iniciado con la implementación de paneles fotovoltaicos en proyectos de minería de cobre. Además, se ha definido que el aumento de la demanda energético por el decrecimiento de la ley del mineral en el tiempo puede ser amortiguado por el uso de energía solar, sobre todo en países como Chile y Perú (Haas et al., 2020).

La mayoría de los proyectos mineros con implementación de paneles fotovoltaicos en Chile se encuentran en el desierto de Atacama (Behar et al., 2021) y no pueden ser replicados en Ecuador por las diferencias climatológicas, geográficas y de potencial energético. Por su parte, en Ecuador no se ha implementado el potencial solar a proyectos de minería. Sin embargo, se puede tener la hipótesis que proyectos similares podrían servir en el país. Por ejemplo, la mina El Alquila tiene una capacidad solar instalada de 2.3 MW, mientras que la mina Collahuasi tiene una capacidad instalada de paneles fotovoltaicos de 25 MW, similar al requerimiento del proyecto Mirador (Behar et al., 2021).

1.4.1 Minería de cobre

El cobre es un metal con excelentes propiedades y gran número de aplicaciones. Por ejemplo, tiene gran conductividad eléctrica, es maleable, blando y tiene buena eficacia microbiana, entre otras características. Sus principales aplicaciones están relacionadas con la construcción (43%), productos eléctricos y electrónicos (21%) y equipos de transporte (19%). Todas estas propiedades y aplicaciones hacen que sea altamente demandado a nivel mundial, destacando a China que consume el 49.4% del cobre comercializado a nivel mundial. La comercialización de cobre en 2019 fue de 20.4 millones de toneladas y sus reservas mundiales alcanzan los 870 millones de toneladas (Poveda Bonilla, 2021).

El mineral de cobre puede extraerse de minas a cielo abierto (con ley de mineral entre 0.5% a 1%) o de minas subterráneas (con ley de mina de 2%) (Schlesinger et al., 2021). La ley de mina se refiere al porcentaje de un metal en una roca de mineral de la que se extrae o su concentración en gramos de metal por tonelada de roca (REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, 2015). Tras extraerse de la mina el mineral de cobre pasa por un proceso de conminución (reducción de tamaño), luego, el metal es separado de la roca por diferentes métodos, dependiendo del tipo de mineral, sulfurado u oxidado. El mineral sulfurado pasa por un proceso de concentrado mediante flotación y después por un proceso de pirometalurgia. Por su parte, el mineral oxidado pasa por un proceso de concentrado mediante lixiviación y después por un proceso de hidrometalurgia (Palacios et al., 2019).

1.4.2 Sistemas renovables

En la actualidad las dos mayores fuentes de generación eléctrica provienen de combustibles fósiles. En 2019 se produjeron 26936 TWh de los cuales el 36.7% provino del carbón y petróleo, mientras el 23.6% de gas natural (International Energy Agency, 2021). Este modelo genera dos problemas. El primero es que las reservas de combustibles fósiles son limitadas y al terminarse estas, se dará una crisis energética. El segundo problema es que la quema de combustibles fósiles genera gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorocarbonos (CFCs), entre otros, causantes del Efecto Invernadero. El efecto invernadero es un fenómeno natural causado por los gases presentes en la atmósfera terrestre, los cuales retienen a los rayos solares que ingresan a la atmósfera provenientes del sol y no dejan que se reflejen hacia el espacio. Sin la presencia de estos gases, la temperatura planetaria sería de -18°C . Debido a la actividad humana se genera el Efecto Invernadero Antropogénico, donde las cantidades de gases en la atmósfera son más altas de lo normal, provocando un sobre calentamiento del planeta. Al dióxido de carbono se le atribuye el 61% del efecto invernadero antropogénico, al metano el 15% y a los clorofluorocarbonos el 11% (Quaschnig, 2005).

Como alternativa a la generación de energía mediante combustibles fósiles se plantean los sistemas renovables, cuya energía proviene de fuentes que no se agotarán dentro del horizonte de existencia de la humanidad. Los sistemas renovables también generan energía eléctrica, pero emiten cantidades de gases de efecto invernadero menores que los sistemas convencionales. Estas energías se subdividen en tres áreas: energía geotérmica, energía planetaria y energía solar. La energía geotérmica utiliza el calor del interior de la Tierra (entre 3000°C y 10000°C) para generar energía eléctrica o alimentar sistemas movidos por calor. También puede utilizarse el calor proveniente de volcanes activos. La energía planetaria proviene del intercambio de fuerzas gravitacionales entre la Tierra y la Luna, lo cual genera las mareas. Estos movimientos constantes de grandes masas de agua pueden convertirse en energía eléctrica implementando plantas mareomotrices (Quaschnig, 2005). La energía solar proviene de la energía solar que es interceptada por la tierra.

La energía solar se divide en energía solar directa y energía solar indirecta. La energía solar directa utiliza la energía proveniente del Sol para calentar sistemas (directamente o mediante concentradores) que generarán energía eléctrica, o convierten los rayos solares en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. La energía solar indirecta es aquella que se aprovecha de la energía que entrega el sol, pero no genera electricidad con esta,

sino con los fenómenos que suceden gracias a esta energía. Las más destacadas son la energía hidroeléctrica, la biomasa y la energía eólica (Quaschnig, 2005).

A nivel mundial las fuentes renovables producen el 26.5% de la electricidad en el mundo (International Energy Agency, 2021). En Ecuador, otras fuentes de energía renovable representan el 1.8% de electricidad producida, que junto con las hidroeléctricas son responsables del 79.1% de la energía eléctrica producida en el país (Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2021).

1.4.3 Sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos convierten la radiación solar en corriente directa (DC) gracias a materiales semiconductores hechos de Silicio (Si) o Germanio (Ge). Los componentes de los sistemas fotovoltaicos principalmente son cinco: panel fotovoltaico, batería, controlador de carga, inversor y demás componentes como cables, protecciones, etc (Abou Jieb & Hossain, 2021). Un esquema simplificado de los componentes de un sistema fotovoltaico y su conexión se muestra en la Figura 1.1.

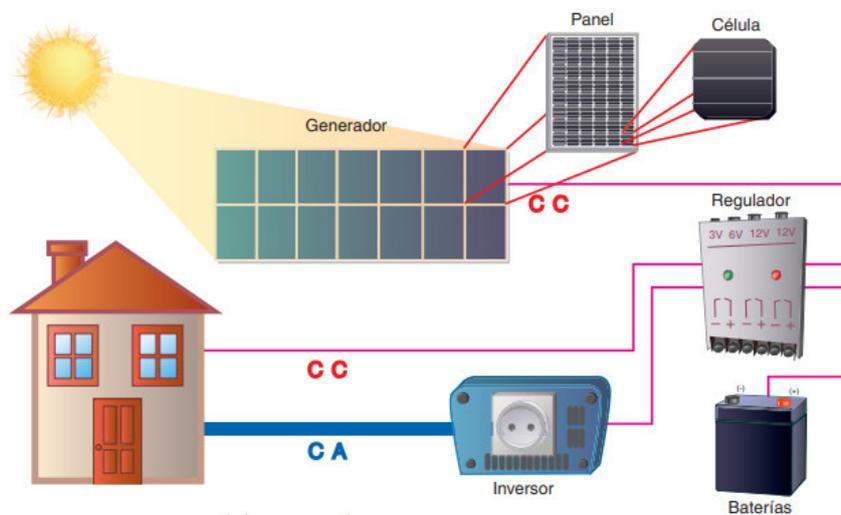


Figura 1.1 Esquema simplificado de un sistema fotovoltaico y sus componentes.

Fuente: (*Componentes de una instalación solar fotovoltaica, s/f*).

El principal elemento es el panel solar fotovoltaico o módulo, el cual se compone por varias celdas formadas por semiconductores, responsables de convertir la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Cada celda genera entre 0.5 a 0.68 V entre los polos de silicio que la componen. La unión de las celdas forma un módulo, la conexión en serie de los módulos crean una línea, las líneas se agrupan en paralelo y forman un arreglo (Abou Jieb & Hossain, 2021). Los paneles fotovoltaicos se diferencian por el tipo de celdas que las componen, siendo las principales las siguientes:

- **Celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino:** Se las conoce comúnmente sólo como celdas de silicio. Toda la celda es un solo cristal de silicio y es el tipo más comercializado actualmente.
- **Celdas fotovoltaicas de silicio policristalino:** El cristal está formado por varios granos de silicio cristalino. Es una alternativa más económica, pero de menor eficiencia por las interfases de los granos.
- **Lámina delgada:** La celda es una delgada lámina policristalina cuyo espesor va desde las décimas hasta las 5 micras. Es una alternativa para reducir el coste de fabricación de los paneles.
- **Celdas de silicio amorfo:** Los átomos de silicio que lo forman no tienen ordenamiento de red cristalina. Las propiedades de semiconductor se deben a la incorporación de hidrógeno, siendo en realidad de silicio amorfo hidrogenado (Bayod Rújula, 2009).

Los paneles usualmente son instalados en tierra sobre sus soportes, pero en los últimos años se ha optado también por paneles flotantes. Se tratan de los mismos módulos, pero se colocan sobre extensiones de agua como lagos con la ayuda de flotadores o en contacto directo con la superficie líquida. Esta tecnología también puede aplicarse en depósitos de relaves de minas de cobre como muestra Arroyo Sáenz (2017).

Los controladores de carga son elementos que controlan el máximo de corriente entregado por el módulo fotovoltaico a la batería para evitar una sobrecarga de esta última. Mantiene el nivel de carga de las baterías en mínimos admisibles. Por su parte la batería es el dispositivo encargado de almacenar energía durante las horas de mayor radiación solar para distribuirla en los momentos de radiación solar menor o nula (Abou Jieb & Hossain, 2021).

Otro componente importante es el inversor, el cual transforma la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) de un voltaje y frecuencia específica. La mayoría de los equipos que usamos todos los días, consumen corriente alterna y por eso su importancia (Abou Jieb & Hossain, 2021).

El dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conlleva una cantidad considerable de cálculos matemáticos. Sin embargo, en la actualidad se cuenta con diversos softwares de simulación que facilitan el dimensionamiento y diseño de los sistemas. System Advisor Model (SAM) o Modelo Asistidor de Sistemas en español, es un software de simulación de sistemas renovables desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de

los Estados Unidos (NREL por sus siglas en inglés). El software es gratuito y abierto al público en general (Blair et al., 2018). Para simulaciones de sistemas fotovoltaicos es necesario seleccionar un módulo o panel, un modelo de inversor e ingresar la ratio DC/AC. La ratio DC/AC asegura que el voltaje que sale del inversor se integre a la red con la menor cantidad de pérdidas, para lo cual su valor debe encontrarse entre 1 y 1.3. Las pérdidas en sistemas fotovoltaicos pueden deberse principalmente a temperatura, polvo, caídas de tensión, cables, deterioro, entre otros factores (Abou Jieb & Hossain, 2021).

En Ecuador las fuentes solares representan sólo el 0.1% del total de generación eléctrica del país (Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2021). Hasta 2015 los sistemas de energía solar instalados en Ecuador sólo alcanzaban los 0.01 MW. Para 2017 Ecuador ya contaba con 29 plantas solares, con una capacidad instalada de 26.47 MW, siendo El Oro y Loja las provincias con mayor capacidad de generación, con 6 plantas y 5.99 MW de capacidad de generación cada una (García et al., 2019).

2 METODOLOGÍA

La mayoría de la información utilizada en el trabajo proviene del estudio de factibilidad del proyecto Mirador de Drobe et al. (2008). Se inicia con la etapa de establecimiento de los procesos presentes en el proyecto Mirador con base a la literatura, luego se realiza un inventario energético de la planta de procesamiento. Se determinan los parámetros a utilizarse en las simulaciones del software SAM y con ayuda de este se diseñan los sistemas para los 3 casos de estudio propuestos. El diagrama de flujo de la metodología se observa en la Figura 2.1 y una descripción más amplia de cada paso se presenta a continuación.

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA EL PROYECTO MIRADOR

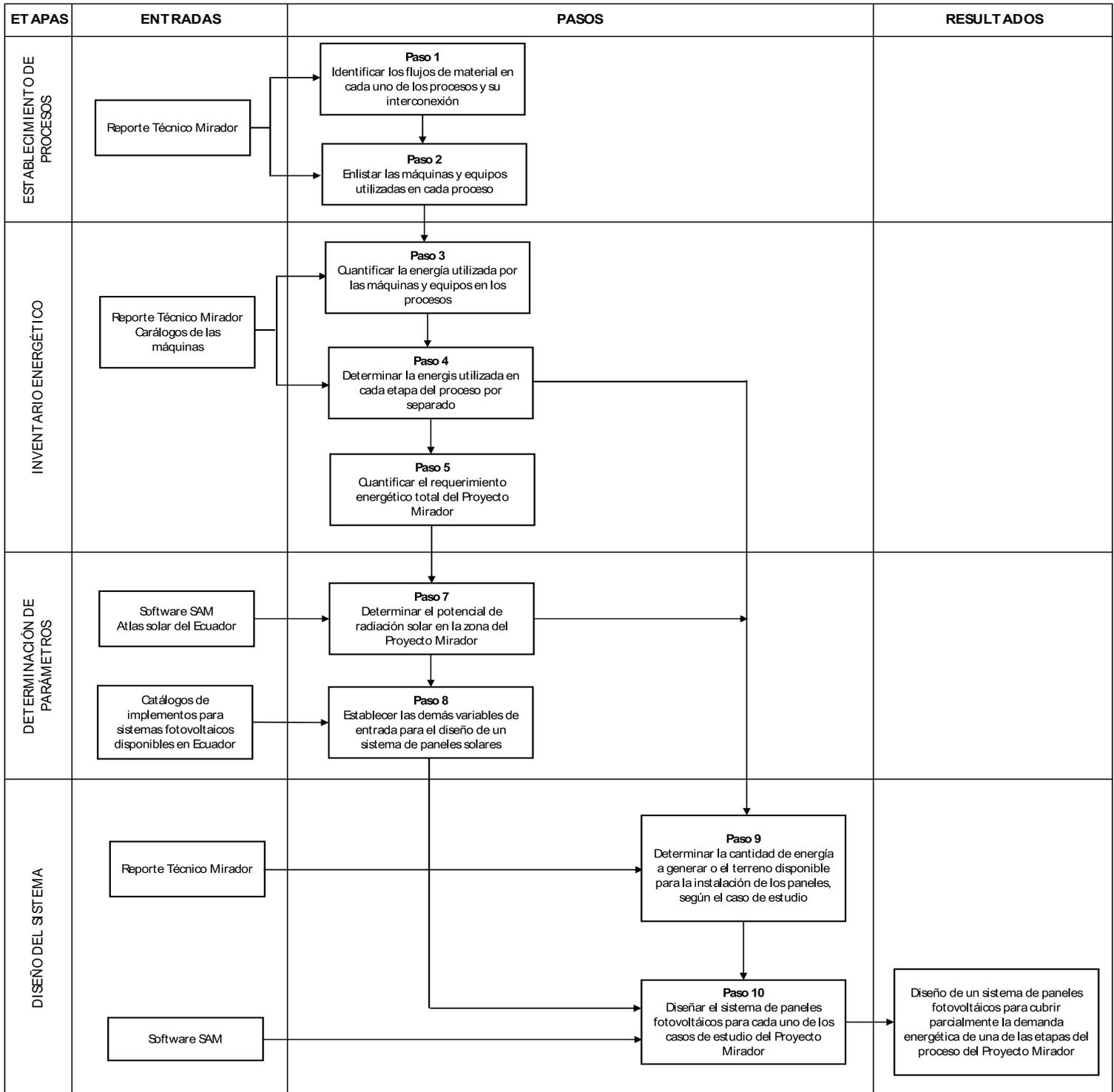


Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología propuesta. (Fuente: Propia)

2.1 ESTABLECIMIENTO DE PROCESOS EN EL PROYECTO MIRADOR

2.1.1 Flujos de material

Se establecen los flujos de material (mineral de cobre), siguiendo el diseño de la planta de proceso del proyecto Mirador, presentado en el estudio de factibilidad. En este estudio se contempla una capacidad de procesamiento diaria de 30000 t de mineral de cobre (Drobe et al., 2008).

2.1.2 Equipos utilizados

Tras establecer claramente los flujos de material, se obtiene un inventario de las máquinas y equipos utilizados en las distintas etapas de la planta de procesamiento del proyecto Mirador. Las etapas son: Trituración primaria, Molienda, Flotación y Remolienda y, Espesado de concentrado y Filtración. En la Figura 2.2 se muestra el flujo del material durante las distintas etapas. El material con contenido de cobre que pasa de una etapa a otra se muestra con flechas de color rojo. El material sin contenido de cobre se consideran relaves (desperdicios) y se muestran con flechas de color marrón.

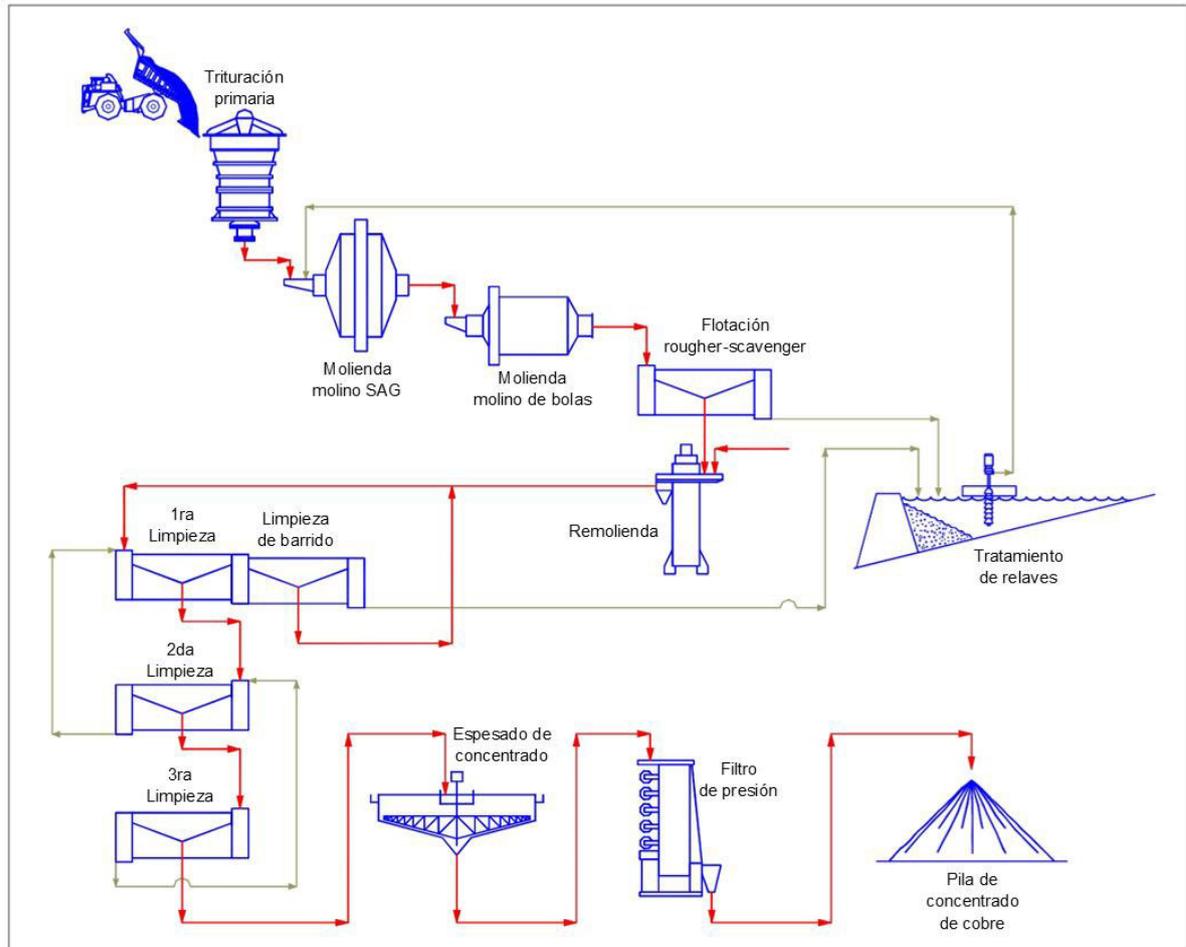


Figura 2.2 Flujo del material en la planta de procesamiento (Piésold LLC, 2005).

2.2 Inventario Energético

2.2.1 Consumo energético anual por equipo

Se determina la energía utilizada por cada equipo presente en el inventario del punto 2.1.5. El tiempo de operación diario de los equipos es de 24 horas al día, 365 días al año (Drobe et al., 2008). El consumo anual de cada equipo es el producto de su potencia por las horas del día y por los días del año en que está activo, según se muestra en la Ecuación 2.1.

$$Energía_anual_{Equipo} = Potencia_{Equipo} * 24 * 365$$

Ecuación 2.1. Consumo energético anual por equipo.

Donde, ($Energía_anual_{Equipo}$) es la energía consumida por el equipo durante un año en MWh/a, ($Potencia_{Equipo}$) es la potencia de trabajo del equipo en MW. 24 es una constante de horas en el día y 365 es una constante de días en un año.

En caso de que los equipos en que no se presenta información sobre su consumo energético dentro del estudio de factibilidad (Drobe et al., 2008), se obtiene esta información directamente de los catálogos de estos equipos, o de otros con similares características.

2.2.2 Consumo energético anual por etapas

Se cuantifica el consumo de energía anual en cada etapa. Se suman las cantidades de energía anual utilizadas por cada equipo o maquinaria (obtenidas en el punto 2.2.1) en cada una de las etapas.

$$Energía_{T.P.} = \sum_{i=1}^n Energía_{Equipo\ T.P._i}$$

Ecuación 2.2. Sumatoria de energía anual por etapas.

Donde, ($Energía_{T.P.}$) es la energía consumida en un año en la etapa de trituración primaria, ($Energía_{Equipo\ T.P._i}$), es la energía anual consumida por cada uno de los equipos utilizados en la etapa de trituración primaria. Todos los elementos de la sumatoria están en unidades de MWh/a. El proceso se repite en cada una de las etapas.

2.3.2 Consumo energético total anual

Se suman las cantidades de energía anual utilizadas por cada etapa de la planta de procesamiento y se obtiene el consumo energético total anual de la planta.

$$Energía_{Total} = \sum_{i=1}^n Energía_{Etapa_i}$$

Ecuación 2.3. Sumatoria de energía total anual.

Donde, ($Energía_{Total}$) es la energía consumida en toda la planta de procesamiento durante un año, ($Energía_{Etapa_i}$), es la energía consumida al año en cada una de las etapas. Todos los elementos de la sumatoria están en unidades de MWh/a.

2.3.3 Escenario de estudio

Se proponen tres escenarios de estudio. El primer escenario corresponde al diseño de un sistema de energía renovable para cubrir en su totalidad el consumo energético anual reportado en el estudio de factibilidad de Drobe et al., (2008).

El segundo escenario corresponde al diseño de un sistema de energía renovable para cubrir parcialmente la demanda de energía resultante del inventario energético realizado. El tercer escenario contempla el diseño de un sistema de energía renovable para cubrir totalmente la demanda de energía del inventario realizado.

2.3 Diseño del sistema

2.3.1 Determinación de variables de entrada para la simulación

El sistema de energía renovable utilizado es el de generación eléctrica con paneles fotovoltaicos. Para este sistema, se identifican y obtienen todas las variables necesarias para realizar la simulación como datos climatológicos, de potencial energético renovable, requerimiento energético, entre otros.

El requerimiento energético proviene del estudio de factibilidad (Drobe et al., 2008), mientras que los datos climatológicos son cargados automáticamente de la base de datos del software SAM (NREL, 2021) al ingresar las coordenadas de ubicación del proyecto Mirador (Drobe et al., 2008).

2.3.2 Establecimiento de la cantidad de energía a generar

En base al requerimiento energético de cada etapa obtenido en la sección 2.2.2, y al potencial energético definido en la sección 2.3.1, se establece la cantidad exacta de energía a ser generada para cubrir parcialmente una etapa o proceso de la planta del proyecto Mirador, o su totalidad, según el escenario estudiado.

2.3.3 Diseño del sistema

Se realiza una simulación en el software System Advisor Model (SAM) del NREL (2021). Se utilizan las variables de entrada las establecidas en la sección 2.3.3 y la energía total requerida en la sección 2.4.1. La simulación entrega información sobre la cantidad, disposición de los equipos de generación de energía y sus accesorios. Con base a esta información, se diseñan un sistema de energía renovable fotovoltaica para cada escenario de estudio.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Flujo de material y procesos en el proyecto Mirador

La extracción del mineral de cobre se realiza en la mina a cielo abierto. El mineral de cobre en bruto es transportado hasta la estación de trituración primaria en camiones de 240 t. Este es el punto de ingreso a la planta de procesamiento (Drobe et al., 2008).

3.1.1.1 Trituración primaria

El mineral de cobre en bruto vertido por los camiones ingresa por la boca de alimentación de la trituradora o chancadora giratoria primaria de 54" x 74". La chancadora primaria tiene una capacidad de procesamiento de 3000 t/h y reduce el tamaño del mineral de cobre de 1000 a 250 mm (Drobe et al., 2008).

El producto de la trituración primaria recae en un bolsón de almacenamiento que alimenta a dos cintas transportadoras colocadas en serie. Estas cintas transportan el material triturado (mineral grueso) durante 1.2 km hasta la pila de almacenamiento de capacidad 120000 t (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

3.1.1.2 Molienda

Tres alimentadoras vibratorias de bandeja con rieles, de 7.2 m de longitud, colocadas en paralelo, transportan el mineral grueso desde la pila de almacenamiento hasta la cinta de alimentación del molino semi-autógeno (SAG). La cinta de alimentación del SAG toma el mineral grueso de las tres alimentadoras vibratorias y lo conduce durante 141 m hasta el ingreso al molino SAG. Un sensor de peso en la banda controla la velocidad de avance y de alimentación, según las toneladas requeridas (Drobe et al., 2008).

El mineral grueso ingresa al molino SAG de 32 pies de diámetro y longitud efectiva de molienda de 14.5 pies (32' Ø x 14 ½' EGL). El SAG es movido por dos motores de inducción (Drobe et al., 2008). En su interior contiene bolas de acero que al girar alcanzan cierta altura en el cilindro y por gravedad caen sobre el mineral grueso, moliéndolo por el impacto. El mineral también se muele a sí mismo al impactarse dentro del cilindro por el mismo principio físico (Wills et al., 2006).

El mineral molido pasa a un harnero vibratorio de una pantalla de 10' x 20', donde se separan los trozos de 2 mm o menos (80%) de aquellos con un tamaño mayor (20%). Estos

últimos son direccionados a una chancadora de gravilla de 800 HP, donde son triturados y enviados nuevamente al molino SAG (Drobe et al., 2008).

El mineral molido de tamaño menor a 2 mm se junta con el producto resultante del molino de bolas, formando un lodo. Con la ayuda de una bomba, el lodo es enviado al hidrociclón Krebs de 26 pulgadas de diámetro (Krebs 26" Ø). El hidrociclón tiene 14 ciclones, los cuales, gracias a la fuerza de arrastre y la fuerza centrífuga separan el material de tamaño menor a 175 µm (80%) y lo envían a la etapa de flotación (Drobe et al., 2008).

El material con tamaño mayor a 175 µm (20%) es expulsado por la salida inferior del ciclón hacia el molino de bolas de 22 pies de diámetro y longitud efectiva de molienda de 36 pies (22' Ø x 36' EGL). En esta máquina el material es molido y el resultado se junta con el producto del harnero vibratorio, para viajar al hidrociclón y repetir el ciclo (Drobe et al., 2008).

3.1.1.3 Flotación y remolienda

El lodo de la etapa de molienda llega a un banco de flotación rougher-scavenger primario. La línea de rougher-scavenger consiste en nueve tanques (o celdas) de 200 m³ cada uno, dispuestos en un arreglo 1+2+2+2+2. En ese arreglo, el lodo ingresa al primer tanque, luego pasa a los dos tanques ubicados a una altura por debajo de la del primer tanque y así sucesivamente, obteniéndose un arreglo tipo cascada de 5 pisos, como se observa en la Figura 3.1. Los productos flotan durante 25 minutos y se separan en espuma y relave. Las espumas son enviadas hacia un hidrociclón con seis ciclones de 15 pulgadas de diámetro cada uno. Los relaves que no flotan pasan de celda en celda, hasta que, al salir de la novena celda, se descartan como desechos (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

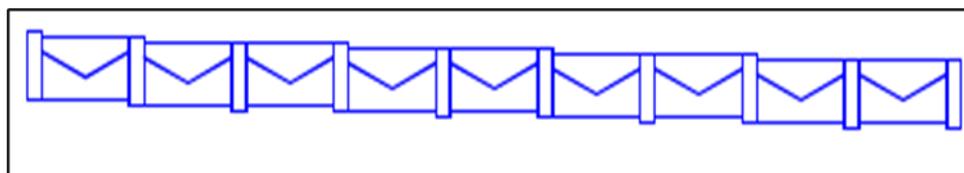


Figura 3.1 Disposición de las celdas de flotación de la línea rougher-scavenger.

(Fuente: Propia)

El hidrociclón separa el material de tamaño menor a 30 µm (80%), de aquel de mayor tamaño, el cual es enviado a un molino vertical VTM 1250, para volver a ser molido. El producto de la remolienda es enviado nuevamente al hidrociclón. Este ciclo se repite continuamente (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

El material con tamaño menor a 30 μm ingresa a la primera etapa de limpieza. En esta etapa flota durante 20 minutos en 3 tanques de 100 m^3 cada uno, colocado en serie en arreglo 1+1+1. Las espumas pasan a la segunda etapa de limpieza, mientras que los relaves van a la etapa de limpieza de barrido (scavenger-cleaner) (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

En la etapa de limpieza de barrido, el material permanece en flotación por 20 minutos en 3 tanques de 100 m^3 cada uno, colocado en serie en arreglo 1+1+1. La espuma obtenida en esta etapa vuelve a ingresar a la primera etapa de limpieza para reiniciar el ciclo, mientras que el relave se descarta (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

La espuma producida en la primera etapa de limpieza ingresa a la segunda etapa de limpieza, donde el material flota durante 11 minutos, mientras pasa por 5 tanques de 10 m^3 cada uno, colocado en serie en arreglo 1+1+1+1+1. El relave producido vuelve a ingresar en la primera etapa de limpieza. La espuma pasa a la tercera etapa de limpieza (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

La espuma que ingresa a la tercera etapa de limpieza flota durante 11 minutos, mientras pasa por 3 tanques de 10 m^3 cada uno, colocado en serie en arreglo 1+1+1. El relave producido vuelve a ingresar en la segunda etapa de limpieza. La espuma (concentrado final) pasa a la etapa de espesado de concentrado (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

3.1.1.4 Espesado de concentrado y filtración

El concentrado final ingresa a un espesador de concentrado de 22 m de diámetro, el cual los espesa hasta un 60% de contenido de sólidos. Este producto se envía a un filtro de presión de lámina vertical (VPA 1540), el cual filtra el producto hasta contener sólo un 9% de humedad. El producto final es el concentrado de cobre, el cual se transporta a una zona de almacenamiento para su posterior distribución (Drobe et al., 2008; Piésold LLC, 2005).

3.1.2 Inventario de equipos utilizados

El inventario de equipos utilizados se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Inventario de equipos. Fuente: (Drobe et al., 2008).

ETAPA	EQUIPO	CANTIDAD
TRITURACIÓN PRIMARIA	Trituradora giratoria primaria 54" x 74"	1
	Cinta transportadora No. 1 1219 mm x 4000 m x 430 m descenso	1
	Cinta transportadora No. 2: 1219 mm x 6000 m x 55 m ascenso	1
MOLIENDA	Alimentadoras vibratorias de bandeja con rieles	3
	Molino semi-autógeno (SAG) 32' Ø x 14 ½' EGL	1
	Harnero vibratorio de pantalla de 10' x 20'	1
	Chancadora de gravilla	1
	Bomba de lodos	1
	Hidrociclón Krebs 26" Ø	1
	Molino de bolas 22' Ø x 36' EGL	1
FLOTACIÓN Y REMOLIENDA	Molino vertical VTM 1250	1
	Bombas de alimentación de remolienda	2
	Celdas de flotación de 200m ³	9
	Celdas de flotación de 100m ³	6
	Celdas de flotación de 10m ³	8
ESPESADO DE CONCENTRADO Y FILTRACIÓN	Espesador de concentrado 22 m Ø	1
	Filtro de presión Metso VPA 1540	1
	Bomba de 30 m ³ /h	1

3.1.3 Consumo energético anual por equipo

El consumo energético anual por equipo se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Consumo energético por equipo. Fuentes: (Drobe et al., 2008; Metso: Outotec, s/f; Metso, 2012; Metso Inc., s/f; Metso Minerals, s/f)

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [MW]	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Trituradora giratoria primaria 54" x 74"	1	0.6	5256.00
Cinta transportadora No. 1 1219 mm x 4000 m x 430 m descenso	1	0.3	2628.00
Cinta transportadora No. 2: 1219 mm x 6000 m x 55 m ascenso	1		
Alimentadoras vibratorias de bandeja con rieles	3	SD	SD
Molino semi-autógeno (SAG) 32' Ø x 14 ½' EGL	1	8.8	77088.00
Harnero vibratorio de pantalla de 10' x 20'	1	SD	SD
Chancadora de gravilla	1	SD	SD
Bomba de lodos	1	1.6	14016
Hidrociclón Krebs 26" Ø	1	SD	SD
Molino de bolas 22' Ø x 36' EGL	1	8.8	77088.00
Molino vertical VTM 1250	1	1.864	16330.83
Bombas de alimentación de remolienda	2	0.3	2628.00
Celdas de flotación de 200m ³	9	1665	14585.4
Celdas de flotación de 100m ³	6	0.66	5781.6
Celdas de flotación de 10m ³	8	0.176	1541.76
Espesador de concentrado 22 m Ø	1	0.004	35.04
Filtro de presión Metso VPA 1540	1	0.0727	636.68
Bomba de 30 m ³ /h	1	0.05	438.00

Nota: Para aquellos equipos en los que no se obtuvo información sobre consumo energético, se marca con las letras SD (Sin datos).

3.1.4 Consumo energético anual por etapa

Se presenta el acumulado de energía por cada etapa en tablas separadas.

Tabla 3.3. Consumo energético para la etapa de trituración primaria.

EQUIPO	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Trituradora giratoria primaria 54" x 74"	5256.00
Cinta transportadora No. 1 1219 mm x 4000 m x 430 m descenso	2628.00
Cinta transportadora No. 2: 1219 mm x 6000 m x 55 m ascenso	
CONSUMO TOTAL DE LA ETAPA DE TRITURACIÓN PRIMARIA	7884.00

Tabla 3.4. Consumo energético para la etapa de molienda.

EQUIPO	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Alimentadoras vibratorias de bandeja con rieles	SD
Molino semi-autógeno (SAG) 32' Ø x 14 ½' EGL	77088.00
Harnero vibratorio de pantalla de 10' x 20'	SD
Chancadora de gravilla	SD
Bomba de lodos	14016
Hidrociclón Krebs 26" Ø	SD
Molino de bolas 22' Ø x 36' EGL	77088.00
CONSUMO TOTAL DE LA ETAPA DE MOLIENDA	168192.00

Tabla 3.5. Consumo energético para la etapa de flotación y remolienda.

EQUIPO	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Molino vertical VTM 1250	16330.83
Bombas de alimentación de remolienda	2628.00
Celdas de flotación de 200m ³	14585.4
Celdas de flotación de 100m ³	5781.6
Celdas de flotación de 10m ³	1541.76
CONSUMO TOTAL DE LA ETAPA DE FLOTACIÓN Y REMOLIENDA	40867.59

Tabla 3.6. Consumo energético para la etapa de espesado de concentrado y filtración.

EQUIPO	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Espesador de concentrado 22 m Ø	35.04
Filtro de presión Metso VPA 1540	636.68
Bomba de 30 m ³ /h	438.00
CONSUMO TOTAL DE LA ETAPA DE ESPESADO DE CONCENTRADO Y FILTRACIÓN	1109.72

3.1.5 Consumo energético total calculado vs reporte

El consumo total de energía eléctrica calculado para la planta de procesamiento es de 218053.31 MWh/a como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Consumo energético calculado para la planta de procesamiento.

ETAPA	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Trituración primaria	7884.00
Molienda	168192.00
Flotación y Remolienda	40867.59
Espesado de concentrado y filtración	1109.72
CONSUMO TOTAL DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO	218053.31

Según el estudio de factibilidad del proyecto Mirador de Drobe, et al., (2008), el consumo de energía eléctrica es de 238298 MWh/a. En este valor se incluye el consumo eléctrico utilizado para bombear los relaves y servicios de agua, además de incluir consumos energéticos por el área administrativa y pérdidas en las líneas de conexión. El desglose del consumo se observa en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Consumo energético del proyecto Mirador. Fuente: (Drobe et al., 2008).

ETAPA	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL [MWh/a]
Trituración primaria y bandas transportadoras	7382
Molienda primaria	155385
Flotación y Remolienda	41234
Espesado de concentrado y filtración	2008
Relaves y servicios de agua	11613
Generales y administrativos	8760
Demanda tota en el sitio	226383
Pérdidas en las líneas	11915
TOTAL DE CONSUMO PROYECTO MIRADOR	238298

3.1.6 Diseño de un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda total de energía estimada en el reporte técnico del proyecto Mirador

Para los diferentes casos simulados se utilizan paneles fotovoltaicos Tiger Pro de 550 Watts (Jinko Solar Co., 2020) e inversores Fronius Symo Advanced (Fronius, s/f) disponibles en el mercado local en la página web de la empresa Renova Energía (2022). Las especificaciones técnicas de los paneles e inversores se muestran en el Anexo I.

El requerimiento energético total del proyecto Mirador es de 238298 MWh/a, por lo que se diseña en el software SAM un sistema fotovoltaico de 240000 MWh/a de capacidad. Los resultados principales del diseño se enlistan en la Tabla 3.9, el reporte de la simulación se observa en el Anexo II.

Tabla 3.9. Características de un sistema fotovoltaico para producir 240000MWh/a.

Fuente: (NREL, 2021).

Característica	Cantidad
Área por panel	2.58 m ²
Cantidad de paneles	436320
Cantidad de inversores	8284
Ratio DC a AC	1.2
Número de arreglos	4
Líneas por arreglo	5454
Paneles por línea	20
Energía total producida al año (AC)	273257 MWh
Área total utilizada	1125145 m²

En la Figura 3.2 se observa el área ocupada por el sistema fotovoltaico con forma de un rectángulo rosado frente al tamaño total del proyecto Mirador. El área ocupada correspondería al 1.13% de las 9930 Ha de terreno del proyecto. Aquí no se consideran los accidentes geográficos o el relieve de la zona.

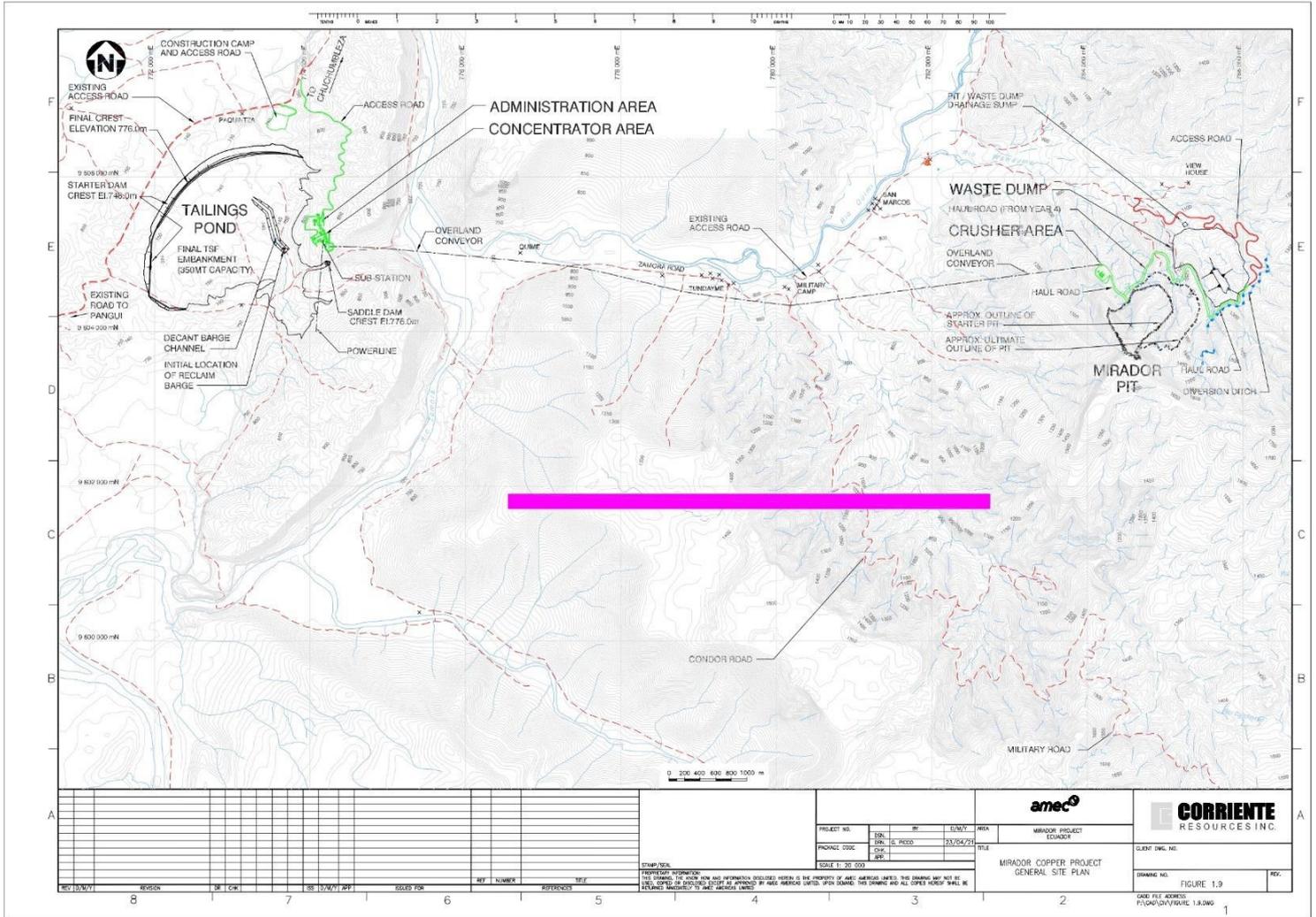


Figura 3.2 Área ocupada por el sistema fotovoltaico en color rosado, con relación al tamaño total del Proyecto Mirador. (Fuente: Propio)

En la Tabla 3.10 se muestran las cantidades de energía generadas por el sistema propuesto a lo largo del año.

Tabla 3.10. Generación de energía por mes para un sistema fotovoltaico para diseñado para producir 240000MWh/a. Fuente: (NREL, 2021).

Mes	Cantidad de energía alterna generada [MWh]
Enero	24271
Febrero	20052
Marzo	22228
Abril	21408
Mayo	21992
Junio	19018
Julio	18857
Agosto	21910
Septiembre	23847
Octubre	27260
Noviembre	27070
Diciembre	25344

3.1.7 Diseño de un sistema fotovoltaico en tierra firme para cubrir parcialmente la demanda energética del proyecto Mirador

Según el estudio de factibilidad el proyecto Mirador de Piésold LLC (2005), la subestación de energía se encuentra cerca del área de concentrado, pues es la de mayor demanda energética. Por este motivo, se busca un terreno cercano y preferiblemente plano para ubicar el sistema fotovoltaico y se opta por las cimas de dos colinas próximas, una ubicada al norte de la subestación y otra al sur como se observa en la Figura 3.3.

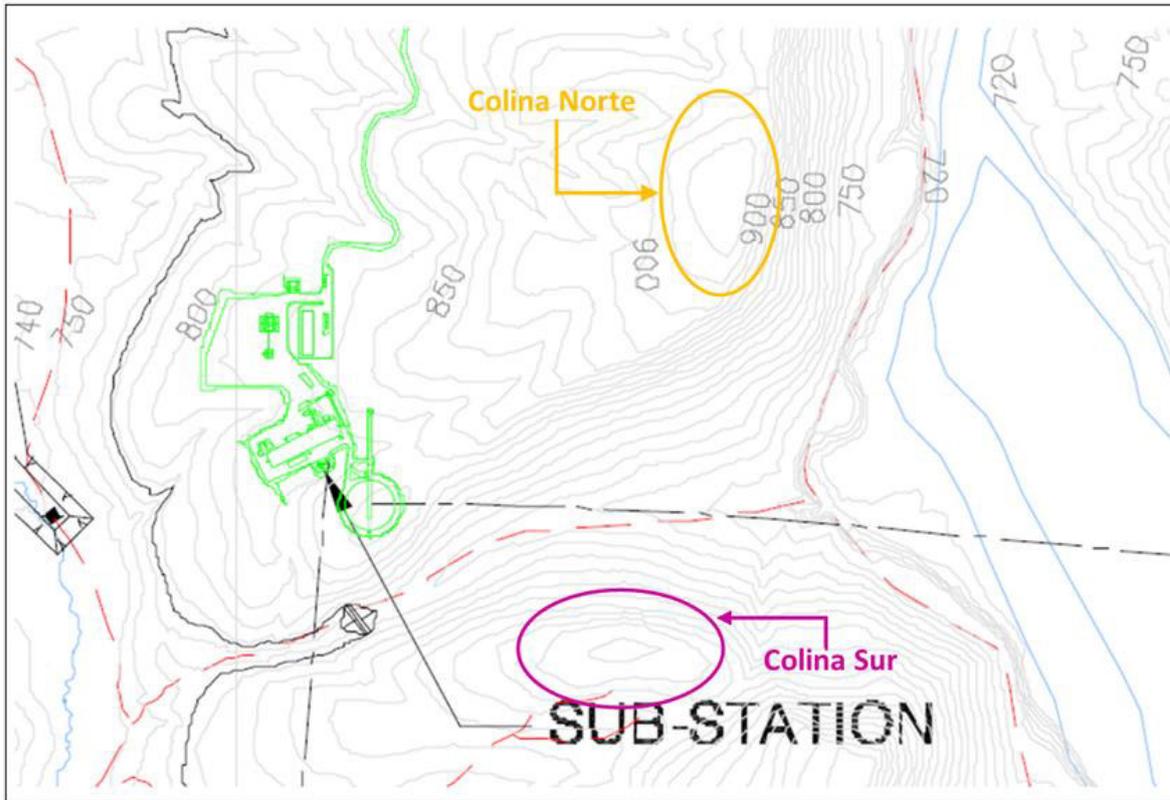


Figura 3.3 Ubicación de las colinas cercanas a la subestación. Colina norte dentro del óvalo amarillo y colina sur dentro del óvalo morado. (Fuente: Propia)

En la imagen, cada línea de relieve en los contornos de las colinas representa 10 m de altitud. Con ayuda del software Autocad (2020) se miden las distancias entre las líneas de relieve del perímetro de la cima de las colinas, con el valor de esta distancia y conociendo que cada línea representa 10 m de altitud, se calcula la pendiente alrededor de la cima de las colinas. Las secciones cuya pendiente se encuentra por encima de 80° son descartadas por la dificultad que supone la instalación y mantenimiento de los módulos fotovoltaicos, además que recibirán sombra por parte de la parte superior de la colina.

Tras estas consideraciones, el área útil en la cima de la colina norte es de 24205 m², y de 29671 m² en la colina sur. Se diseñan dos sistemas fotovoltaicos separados, uno para cada colina, cuyas características se observan en las columnas de la Tabla 3.11. Los reportes de las simulaciones se observan en el Anexo III.

Tabla 3.11. Características del sistema fotovoltaico en la colina norte. Fuente: (NREL, 2021).

Característica	Colina norte	Colina sur
Área por panel	2.58 m ²	2.58 m ²
Cantidad de paneles	9360	11500
Cantidad de inversores	200	240
Ratio DC a AC	1.07	1.09
Número de arreglos	1	1
Líneas por arreglo	624	575
Paneles por línea	15	20
Energía total producida al año (AC)	5811 MWh	7199 MWh
Área total utilizada	24136 m²	29655 m²

La energía total producida en un año por ambos sistemas en conjunto es de 13010 MWh, suficiente para cubrir 8 de las 9 celdas de flotación de 200m³ (12964.8 MWh/a).

Las áreas correspondientes a estos sistemas se pueden observar en la Figura 3.4, en color naranja el sistema correspondiente a la colina norte y en color cian el correspondiente a la colina sur. Los sistemas juntos suman un área de 5.38 Ha, correspondiente al 0.054% del territorio total del proyecto. Como se observa, se encuentran cerca de la planta de procesamiento y la subestación, ambas en color verde.

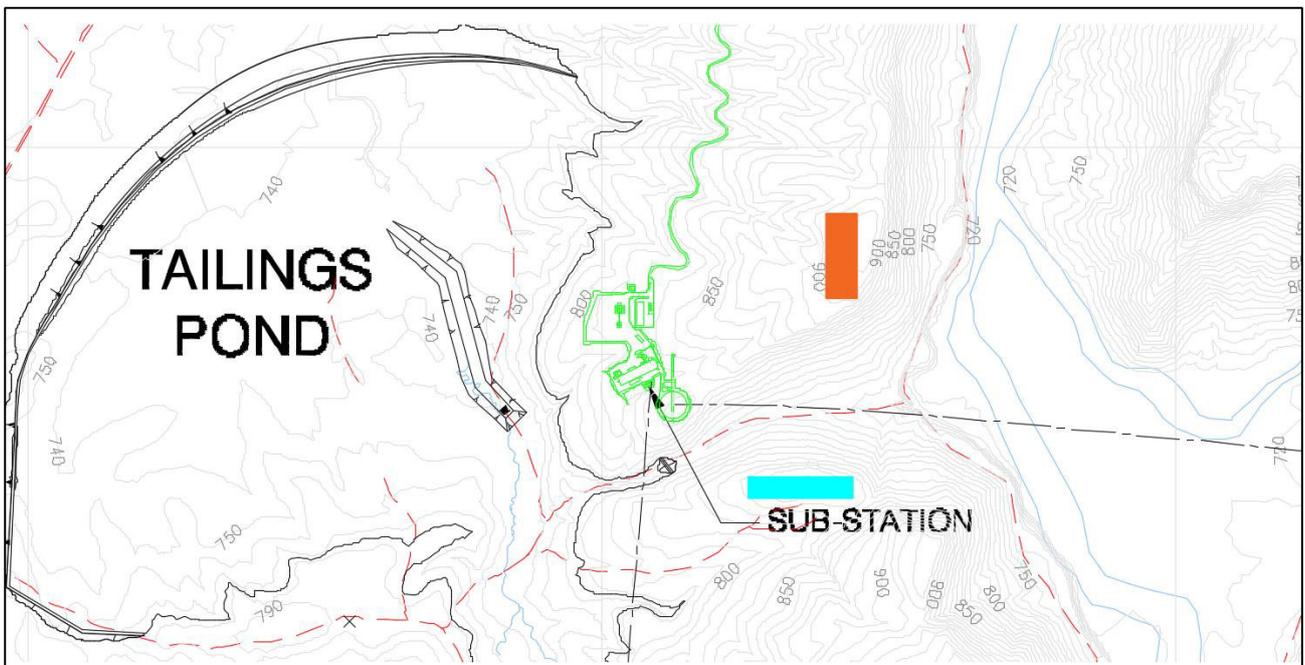


Figura 3.4 Área ocupada por los sistemas fotovoltaicos en la cima de las colinas. En color naranja el sistema de la colina norte y en color cian el sistema de la colina sur.

(Fuente: Propio)

La generación conjunta de ambos sistemas por cada mes del año se observa en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Generación de energía conjunta por mes para los sistemas fotovoltaicos de la colina sur y colina norte. Fuente: (NREL, 2021).

Mes	Cantidad de energía alterna generada [MWh]
Enero	1157,11
Febrero	954,52
Marzo	1058,16
Abril	1018,97
Mayo	1046,83
Junio	904,97
Julio	897,24
Agosto	1042,90
Septiembre	1135,39
Octubre	1298,25
Noviembre	1289,73
Diciembre	1207,36

3.1.8 Diseño de un sistema fotovoltaico flotante para cubrir la demanda energética de la planta de procesamiento del proyecto Mirador

El proyecto Mirador presenta un depósito de relaves (lodo) con una gran superficie a cielo abierto. El área total es de 3.12 km². Se trata de un depósito en el que los relaves del procesamiento del cobre se irán acumulando a razón de 53223 m³/d, de los cuales 31.5% son sólidos y 68.5% es líquido (principalmente agua). El criterio de diseño es que no exista descarga, es decir que el nivel seguirá subiendo a razón de 0.5% por año, hasta que el depósito se llene por completo. Está diseñado para que esto ocurra dentro de los años de vida proyectados del proyecto (Piésold LLC, 2005).

Se propone colocar un sistema fotovoltaico con paneles flotantes en el interior de este depósito. El área destinada se marca con el rectángulo amarillo que se observa en la Figura 3.6. El área del rectángulo es de 936000 m².

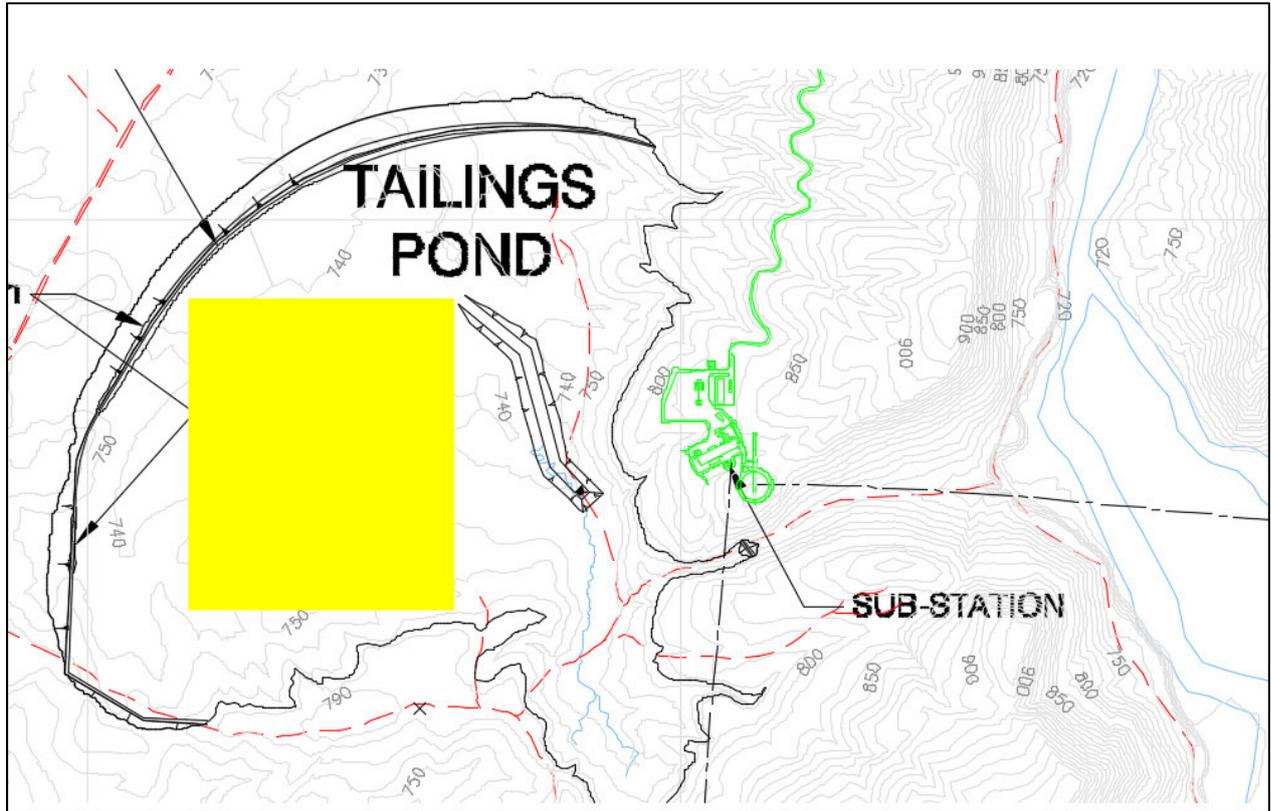


Figura 3.6 Área utilizada por el sistema flotante en el depósito de relaves (rectángulo amarillo). (Fuente: Propia)

Se utilizan 6 sistemas idénticos ordenados en secuencia. Las características de los 6 sistemas se muestran en la Tabla 3.13 y los detalles de la simulación de uno de los sistemas se observa en el Anexo IV.

Tabla 3.13. Características del sistema fotovoltaico flotante. Fuente: (NREL, 2021).

Característica	Cantidad
Área por panel	2.58 m ²
Cantidad de paneles	356352
Cantidad de inversores	7500
Ratio DC a AC	1.08
Número de sistemas	6
Número de arreglos	4 por sistema
Líneas por arreglo	928
Paneles por línea	16
Energía total producida al año por sistema (AC)	36943 MWh
Energía total producida al año por 6 sistemas (AC)	221658 MWh
Área total utilizada por 6 sistemas	918930 m²

El área total utilizada es de 918930 m², correspondiente al 29.45% del depósito y al 0.92% del área total del proyecto.

Cada arreglo está formado por 928 líneas una junto a la otra. Cada línea está formada por 16 paneles en serie como se muestra en la Figura 3.7.

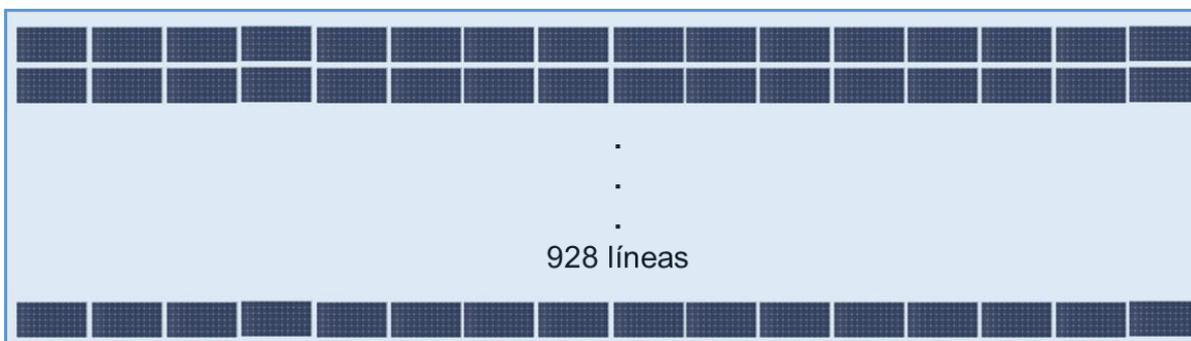


Figura 3.7 Configuración de un arreglo. (Fuente Propia)

A su vez, cada sistema está formado por 4 arreglos paralelos los unos a los otros como se observa en la Figura 3.8.

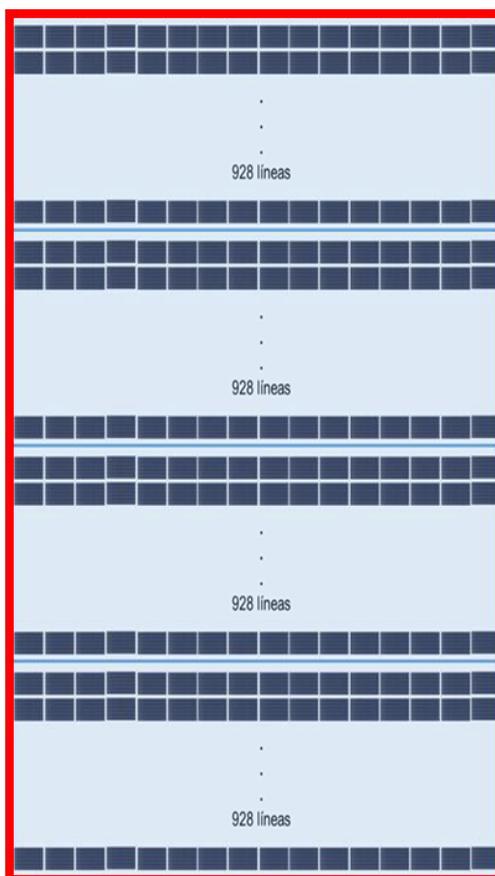


Figura 3.8 Sistema fotovoltaico formado por 4 arreglos en paralelo. El total del sistema comprende todo lo rodeado por el rectángulo de borde color rojo. (Fuente: Propia)

Los 6 sistemas se distribuyen en el área destinada de manera ordenada, formando 2 filas de 3 sistemas cada una, como se observa en la Figura 3.9.

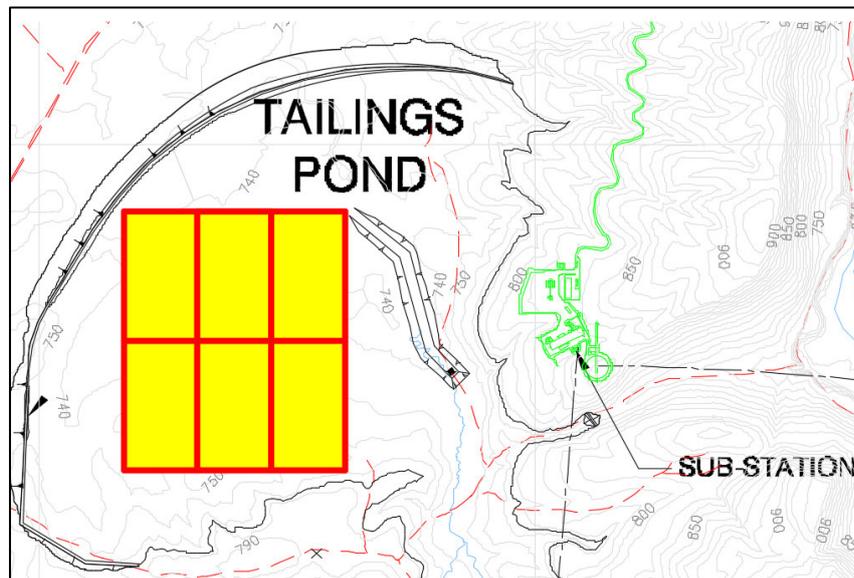


Figura 3.9 Disposición de los 6 sistemas idénticos en el área de depósito de relaves.

Cada sistema se representa con un rectángulo de borde color rojo. (Fuente: Propia)

Al utilizar 6 sistemas fotovoltaicos flotantes en el área del depósito de relaves, es posible generar energía suficiente para cumplir en su totalidad la demanda energética anual calculada para la planta de pesamientos del proyecto Mirador, con una sobreproducción de energía de 3604.69 MWh/a.

La generación mensual acumulada de los 6 sistemas flotantes se observa en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Generación de energía por mes para el sistema fotovoltaico flotante del depósito de relaves. Fuente: (NREL, 2021).

Mes	Cantidad de energía alterna generada [MWh]
Enero	3425,63
Febrero	2826,64
Marzo	3134,07
Abril	3017,77
Mayo	3100,38
Junio	2682,97
Julio	266,11
Agosto	3088,83
Septiembre	3360,59
Octubre	3839,19
Noviembre	3815,39
Diciembre	3573,21

3.2 Discusiones

Las simulaciones utilizaron datos climatológicos propios de la base de datos del sistema SAM, el cual utiliza las coordenadas geográficas en las que se ubica el proyecto. Según el software, la radiación global horizontal es de 3.91 kW/m²/día (NREL, 2021). Por su parte el Mapa Solar del Ecuador (Ordoñez & Vaca-Revelo, 2019) indica que la radiación global horizontal en la provincia de Zamora Chinchipe se encuentra entre 3.6 y 4.2 kW/m²/día. La radiación presentada por el software SAM se encuentra dentro del rango indicado por el Mapa Solar del Ecuador, por lo que la base de datos del SAM es confiable para futuras simulaciones en territorio ecuatoriano.

Debido a su cercanía, otros proyectos mineros como Fruta del Norte en Zamora Chinchipe y San Carlos Panantza en Morona Santiago (Banco Central del Ecuador, 2021) comparten características geográficas y climatológicas parecidas. Los análisis y resultados del presente trabajo podrían replicarse en los mencionados proyectos mineros en lo referente a producción de energía. La determinación del requerimiento energético dependerá de los procesos de cada mina.

El estudio de factibilidad de Drobe, et al. (2008) reporta un requerimiento energético de 206009 MWh/a para la planta de procesamiento, mientras que el inventario energético arrojó un requerimiento energético de 218053.31 MWh/a para los mismos procesos. El estudio de factibilidad aplica un factor de servicio distinto para cada máquina según su capacidad, pero que en promedio es del 92% (Drobe et al., 2008). La diferencia entre el resultado del inventario energético y de lo reportado, da un factor de servicio del 94.4%.

El estudio de factibilidad contempla voltajes desde 120V monofásicos hasta 13.8kV trifásicos y divide las líneas de distribución de electricidad en cinco categorías según estos voltajes (Piésold LLC, 2005). Estas características no fueron tomadas en cuenta en el diseño de los sistemas fotovoltaicos del presente trabajo y deberían considerarse para trabajos futuros.

El presente trabajo utiliza la energía solar mediante paneles fotovoltaicos como fuente de energía renovable. No se ha considerado si otras fuentes de energía renovable sean más apropiadas para la localización del Proyecto Mirador.

Según Vásconez Carrasco & Torres León (2018), hay cinco posiciones a tomar respecto a la minería, las cuales difieren entre sí en conceptos como: cosmovisión, naturaleza, derechos, Estado, economía y minería. Las posiciones y sus implicaciones son las siguientes:

- Biocentrismo o Sostenibilidad fuerte: No realizar minería.
- Conservacionismo o Sostenibilidad débil: Realizar minería artesanal y a pequeña escala.
- Vía media: Realizar mediana minería.
- Extractivismo condicionado: Realizar minería a gran escala de manera responsable.
- Antropocentrismo o Capitalismo liberal: Realizar minería sin restricciones.

Según los mismos autores la posición a tomarse debe ser la del Extractivismo condicionado. En esta visión se reconoce la necesidad de la explotación de recursos naturales para el desarrollo humano, pero el nivel de extracción debe limitarse a la tecnología actual para evitar daños ambientales. Se necesita que el Estado controle fuertemente el cumplimiento de estas condiciones y vele por el bienestar de la sociedad.

3.3 Conclusiones

En este trabajo se realizó un inventario energético de la planta de procesamiento del proyecto minero Mirador en base a su estudio de factibilidad. Se diseñó un sistema fotovoltaico para suplir el requerimiento energético utilizando el software SAM.

El inventario energético realizado en base al reporte de factibilidad realizado por Drobe et al. (2008) para la empresa Ecuacorrientes, arrojó un requerimiento de 218053.31 MWh/año para cubrir las etapas de: trituración primaria, molienda, flotación y remolienda, espesado de concentrado y filtración.

El flujo de procesos y el inventario energético presentado corresponde a la planta de procesamiento del proyecto Mirador para extracción de cobre. Estos resultados son específicos para este proyecto minero y no pueden ser extrapolados a otros proyectos. Sin embargo, otros proyectos para extracción de cobre u otros minerales, podrían tomar como base la metodología propuesta.

Por la ubicación geográfica del proyecto Mirador, el potencial de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos es de 3.91 kW/m²/día. Se da la mayor generación en los meses de octubre y noviembre, y siendo los meses de menor generación junio y julio, según datos del software SAM.

El potencial energético que ofrece la zona es suficiente para los diseños propuestos, pero en Ecuador existen sectores con mayor potencial de energía solar, como la región interandina, sobre todo al sur del país. Cualquier proyecto minero cuyo tamaño sea menor o igual al proyecto Mirador, podrá satisfacer su demanda de energía a través de paneles fotovoltaicos.

Se simularon 3 casos distintos. En el primer caso se diseña un sistema fotovoltaico para cumplir en su totalidad el requerimiento energético de 238298 MWh/a reportado en el reporte técnico, necesitándose un área de 112.51 ha, 436320 paneles y 8284 inversores. El segundo caso propone colocar dos sistemas fotovoltaicos en la cima de dos colinas cercanas a la subestación de energía. El área sumada de ambos terrenos es de 5.38 ha, lográndose una generación de 13010 MWh/a utilizando 20860 paneles y 440 inversores. Con esta energía se puede cubrir 8 de las 9 celdas de flotación de 200m³. El tercer caso propone colocar un sistema de paneles fotovoltaicos flotantes en el área del depósito de relaves. El diseño utiliza un área de 91.89 ha, 356352 paneles y 7500 inversores, con lo cual genera 221658 MWh/a. Esta propuesta es seleccionada como la más adecuada, pues cubre en la totalidad el requerimiento energético de toda la planta calculado en el inventario energético.

Las simulaciones muestran resultados positivos para los tres casos de estudio. El uso de energía solar mediante paneles fotovoltaicos es una fuente de energía renovable factible para proyectos mineros en esta zona. Además, la metodología y el software propuesto pueden ser replicados en futuros trabajos.

3.4 Recomendaciones

Este trabajo utilizó la energía solar como fuente de energía renovable. Se recomienda utilizar otras fuentes de energía renovable como energía eólica, micro generación hidráulica o biomasa en futuros trabajos.

En este trabajo no se consideraron los voltajes de las líneas de transmisión en el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Se recomienda rediseñar los sistemas en un trabajo futuro, considerando los voltajes de líneas.

El presente trabajo se realizó bajo el estudio de factibilidad para el procesamiento de 30000 t diarias de mineral de cobre. El objetivo a futuro del proyecto Mirador es procesar 60000 t diarias, por lo que se recomienda realizar una ampliación al diseño presentado.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou Jieb, Y., & Hossain, E. (2021). *Photovoltaic Systems*. Springer.
- Alcaraz Sendra, O. (2021). El Protocolo de Kioto ha resucitado. *Wall Street International Magazine*. <https://wsimag.com/es/economia-y-politica/64783>
- Arroyo Sáenz, V. J. (2017). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PARQUE FOTOVOLTAICO FLOTANTE EN DEPÓSITOS DE RELAVE EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE CHILE*. Universidad de Chile.
- Astudillo, I., & Pérez, V. (2019, noviembre 27). Demanda por prácticas responsables: Hacia un esquema certificado de minería sustentable. *LATINOMINERIA*. <http://www.latinomineria.cl/reportajes/demanda-por-practicas-responsables-hacia-un-esquema-certificado-de-mineria-sustentable/#>
- Autodesk. (2020). *Autodesk AutoCAD*.
- Banco Central del Ecuador. (2021). *REPORTE DE MINERÍA*. www.bce.ec
- Bayod Rújula, Á. A. (2009). *Energías Renovables. Sistemas fotovoltaicos* (1ra edición). Prensas Universitarias Zaragoza.
- BBC News Mundo. (2021, noviembre 13). *COP26: 5 puntos clave del acuerdo final de la cumbre sobre el cambio climático - BBC News Mundo*. BBC NEWS. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-59273614>
- Behar, O., Sbarbaro, D., & Moran, L. (2021). Which is the most competitive solar power technology for integration into the existing copper mining plants: Photovoltaic (PV), Concentrating Solar Power (CSP), or hybrid PV-CSP? *Journal of Cleaner Production*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125455>
- Blair, N., Diorio, N., Freeman, J., Gilman, P., Janzou, S., Neises, T., & Wagner, M. (2018). *System Advisor Model (SAM) General Description (Version 2017.9.5)*. www.nrel.gov/publications.
- Brantes Abarca, R., & Cantallopts Araya, J. (2020). *Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2019*.
- Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. (s/f). McGraw-Hill. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

- Delevigne, L., Glazener Will, Grégoir Liesbet, & Henderson, K. (2020, enero 28). Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know. *McKinsey Sustainability*.
- Drobe, J., John Hoffert, Pg., Robert Fong, Pe., Jeremy Haile, Pe. P., & Jay Collins, Pe. (2008). *MIRADOR PROJECT 30,000 TPD FEASIBILITY STUDY MIRADOR COPPER-GOLD PROJECT 30,000 TPD FEASIBILITY STUDY*.
- Flores C., E. (2017, febrero 24). Portafolio de proyectos 2016. *REVISTA HIDROCARBUROS & MINERÍA*.
- Fonseca, A., McAllister, M. L., & Fitzpatrick, P. (2014). Sustainability reporting among mining corporations: A constructive critique of the GRI approach. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 84, Número 1, pp. 70–83). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.050>
- Fronius. (s/f). *Fronius-Symo Advanced datasheet*.
- García, J. L., Jurado, F., & Larco, V. (2019). Review and resource assessment, solar energy in different region in Ecuador. *E3S Web of Conferences*, 80.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001003>
- GESAMBCONSULT CIA. LTDA. (2019). *Estudio de Impacto Ambiental Complementario y Plan de Manejo Ambiental para la Fase de Explotación de Minerales Metálicos, Ampliación de 30 kt por día a 60 kt por día del Proyecto Minero Mirador Concesión Mirador 1 (Acumulada) (Código 500807), así como de las Concesiones Mineras Curigem 18 (Código 4768), Curigem 19 (Código 4769)*.
- Haas, J., Moreno-Leiva, S., Junne, T., Chen, P. J., Pamparana, G., Nowak, W., Kracht, W., & Ortiz, J. M. (2020). Copper mining: 100% solar electricity by 2030? *Applied Energy*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114506>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE. (2021). *Balance Energético Nacional 2020*. www.rekursosyenergia.gob.ec
- Intergovernmental Panel on climate change. (2021). *Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers*.
- International Energy Agency. (2021). *Statistics report Key World Energy Statistics 2021*.
- Jácome, J. (2021, septiembre 17). *Cuatro proyectos mineros entrarán en producción en Ecuador hasta 2025 | Economía | Edición América | Agencia EFE*. Agencia EFE.

<https://www.efe.com/efe/america/economia/cuatro-proyectos-mineros-entraran-en-produccion-ecuador-hasta-2025/20000011-4632079>

Jinko Solar Co., L. (2020). *Tiger Pro 72HC 550 Watt MONO-FACIAL MODULE*.
www.jinkosolar.com

Liu, D., Guo, X., & Xiao, B. (2019). What causes growth of global greenhouse gas emissions? Evidence from 40 countries. *Science of the Total Environment*, 661, 750–766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.197>

LME sets out responsible sourcing requirements | London Metal Exchange. (, octubre). 2019. <https://www.lme.com/News/Press-releases/2019/LME-sets-out-responsible-sourcing-requirements>

Metso: Outotec. (s/f). *Flotation TankCell® e-Series*.
<https://www.mogroup.com/globalassets/portfolio/tankcell-e-series-brochure.pdf>

Metso. (2012). *Conventional thickeners and clarifiers*.
https://issuu.com/metsoperumin/docs/03conventional_thickeners_and_clari

Metso Inc. (s/f). *Mining crushers Superior TM MKIII Primary Gyratory*.
<https://www.mogroup.com/globalassets/industry-pages/old-mining-industry-pages/comminution/crushing/superior-mkiii-primary-gyratory-brochure.pdf>

Metso Minerals. (s/f). *Operation & Maintenance Manual Pressure Filter VPA 1540-50*.

Minería chilena. (2006, mayo 15). *Cómo se transa el cobre en la Bolsa de Metales de Londres*. <https://www.mch.cl/2006/05/15/como-se-transa-el-cobre-en-la-bolsa-de-metales-de-londres/>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, & VICEMINISTERIO DE MINAS. (2020). *PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DEL SECTOR MINERO*. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Plan-Nacional-de-Desarrollo-del-Sector-Minero-2020-2030.pdf>

NREL. (2021). *System Advisor Model (SAM)* (202.12.02).

Ordoñez, F., & Vaca-Revelo, D. (2019). *Mapa Solar del Ecuador 2019*.

Palacios, J.-L., Abadias, A., Valero, A., Valero, A., & Reuter, M. (2019). The energy needed to concentrate minerals from common rocks: The case of copper ore. *Energy*, 181, 494–503. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.145>

- Piésold LLC, K. (2005). *Mirador Copper Project Feasibility Study Report Mirador Copper Project Feasibility Study Report*. www.amec.com
- Poveda Bonilla, R. (2021). *Estudio comparativo de las políticas públicas de encadenamientos productivos del cobre en Chile, el Ecuador y el Perú*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). www.cepal.org/apps
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding renewable energy systems* (First edition). Earthscan.
- Renova. (2022). *Renova Energía*. <https://www.renova-energia.com/productos/>
- REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2015). *GLOSARIO TÉCNICO MINERO*.
- Responsible sourcing | London Metal Exchange*. (s/f). <https://www.lme.com/Company/Responsibility/Responsible-sourcing>
- Rodríguez León, A. (2005, agosto). El protocolo de Kioto. *Horizonte Sanitario*.
- Schlesinger, M. E., Sole, K. C., Davenport, W. G. (William G., Alvear, G. R. F., & Davenport, W. G. (William G. (2021). *Extractive metallurgy of copper*. (6th Edition). Elsevier.
- Soria Vanegas, F., Aguila Guevara, C., & Palacios Cabrera, T. (2017). Evaluación del impacto que tendrá en la economía del Ecuador el inicio de la producción de los depósitos de materiales metálicos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, V, 6–14.
- The Copper Mark*. (s/f). <https://coppermark.org/>. <https://coppermark.org/>
- The Copper Mark. (2020). *RMI's Risk Readiness Assessment Voluntary Standard System (VSS) Equivalency Benchmark Results*.
- Vásconez Carrasco, M., & Torres León, L. (2018). Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(2), 83–103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322018000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Wills, B. A. (Barry A., Napier-Munn, T., Wills, B. A. (Barry A., & Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre. (2006). *Wills' mineral processing technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. Elsevier/BH.

5 ANEXOS

ANEXO I ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PANELES E INVERSORES SELECCIONADOS

Tiger Pro 72HC

530-550 Watt

MONO-FACIAL MODULE

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



MBB HC Technology

Key Features



Multi Busbar Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



Reduced Hot Spot Loss

Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

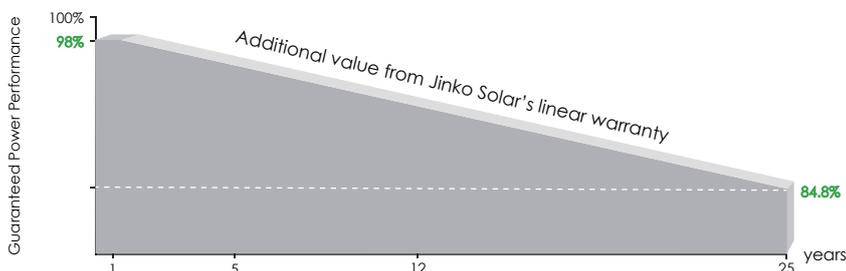


Longer Life-time Power Yield

0.55% annual power degradation and 25 year linear power warranty.



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

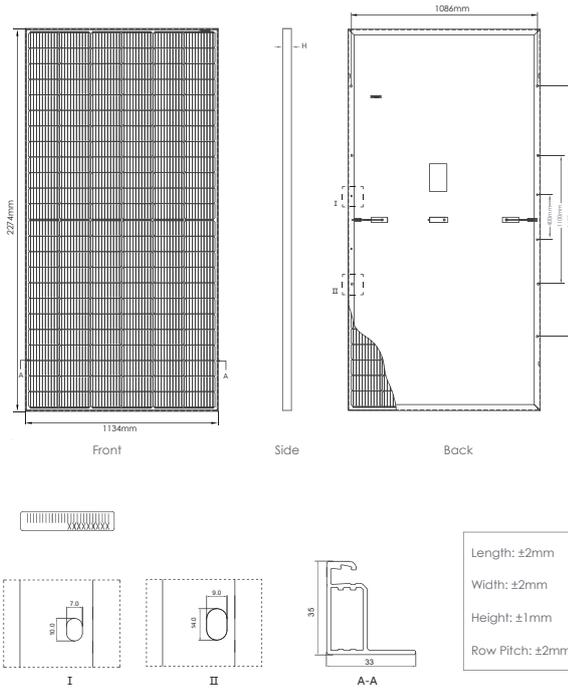


12 Year Product Warranty

25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

Engineering Drawings

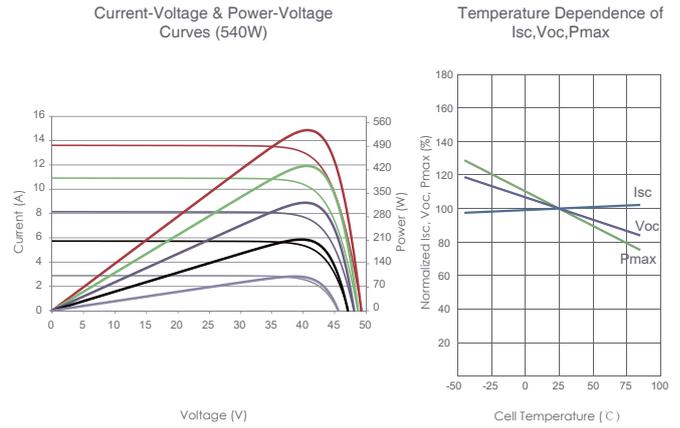


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.7 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

*STC: Irradiance 1000W/m²

Cell Temperature 25°C

AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m²

Ambient Temperature 20°C

AM=1.5

Wind Speed 1m/s



FRONIUS SYMO ADVANCED

Energizando proyectos trifásicos - ahora con PLC SunSpec integrado



/ Proceso de
reemplazo e tarjetas



/ Tecnología de
montaje
SnapInverter



/ Comunicación
de datos
Integrados



/ Diseño
Superflex



/ Preparado para
redes inteligentes
Smart Grid



/ Certificado
SunSpec y Fronius
Rapid Shutdown



Con diez modelos de potencia desde 10kW a 24kW, Fronius Symo Advanced es el inversor ideal para aplicaciones comerciales. Fronius Symo Advanced combina los beneficios de Fronius Symo con un valor adicional para lugares con requisitos de Module Level Shutdown. Fronius Symo Advanced está integrado con un transmisor PLC que cumple el estándar de comunicación SunSpec Rapid Shutdown que a su vez cumple con la norma NEC pre-2014, 2014 y 2017, montaje de inclinación cero, peso ligero y accesibilidad de servicio en el campo.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (VERSIONES 208-240V)

DATOS GENERALES	SYMO 10.0-3 208-240	SYMO 12.0-3 208-240
Potencia FV recomendada (kWp)	8.0 - 13.0	9.5 - 15.5
Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT 2)		25.0 A / 16.5 A
Máxima corriente (MPPT 1 + MPPT 2)		41.5 A
Máxima corriente de entrada de corto circuito admisible (MPPT1/MPPT2)		37.5 A / 24.8 A
Tensión nominal de entrada	208 V	350 V
	240 V	370 V
	480 V	N/A
Operating voltage range		200-600 V
Tensión de arranque en CD		200 V
Rango de tensión MPP		300-500 V
Tensión máxima en CD		600 V
Máximo conductor admisible en CD		6 AWG cobre, 6 AWG aluminio, 2 AWG cobre o aluminio con peinetas de distribución
Portafusibles integrados en CD		NA
Corriente máxima de entrada de corto circuito por terminal		33A
Número de MPPT		2

DATOS DE SALIDA	SYMO 10.0-3 208-240	SYMO 12.0-3 208-240
Potencia máxima de salida	208 V	9995 VA
	240 V	9995 VA
	480 V	NA
Configuración de salida		208/240 V
Rango de frecuencia (ajustable)		45-65 Hz
Frecuencia nominal de operación		60 Hz
Tamaño de conductor de CA admisible		AWG 14-AWG 6
Distorsión armónica total	<1.5 %	
Factor de potencia (cos phi)		Ajustable (0.85 ind./0.85 cap.)
Máxima corriente de salida	208 V	27.7 A
	240 V	24.0 A
	480 V	NA
OCPD / Interruptor CA recomendado	208 V	35 A
	240 V	30 A
	480 V	NA
Máxima Eficiencia		97.0 %
Eficiencia CEC 208 V	208 V	96.5 %
	240 V	96.5 %
	480 V	NA

DATOS TÉCNICOS DE FRONIUS SYMO (VERSIONES DE 208-240V)

DATOS GENERALES	ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO
Dimensiones (ancho x alto x largo)	51.1 x 72.4 x 22.6 cm
Grado de protección	NEMA 4X
Consumo nocturno	< 1 W
Tecnología del inversor	Sin transformador
Enfriamiento	Ventilador de velocidad variable
Instalación	Interior y exterior, inclinación desde 0° a 90°
Temperatura ambiente admisible	-40 a +60 °C
Humedad relativa admisible	0 - 100 % (sin condensación)
Máxima altura sobre nivel del mar	1000 VCD a 2000 m / 850 VCD a 3400 m
Terminales de conexión CD	6x DC+ y 6x DC- terminales de tornillo para cobre
Terminales de conexión CA	Terminales de tornillo 14-6 AWG
Certificaciones y cumplimiento de estándares	UL 1741-2010 Segunda Edición (incl. UL1741 Supplement SA 2016-09 for California Rule 21 and Hawaiian Electric Code Rule 14H), UL1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547-2003, IEEE 1547a-2014, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2017 Artículo 690, C22. 2 No. 107.1-16, UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013

DATOS GENERALES	SYMO 10.0-3 208-240	SYMO 12.0-3 208-240
PESO	41.7 KG	

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	DISPONIBLE CON TODOS LOS MODELOS FRONIUS SYMO
Polaridad inversa CD	Sí
Anti isla	Interna, de acuerdo con UL 1741-2010, IEEE 1547-2003 y NEC
Sobretensión	Reducción de potencia de salida / enfriamiento activo
AFCI	Sí
Cumplimiento de Rapid Shutdown	Sí
Interrupción de falla a tierra por monitorización de aislamiento	Sí
Desconexión de CD	Sí

INTERFACES	DISPONIBLE CON TODOS LOS MODELOS FRONIUS SYMO
USB (Socket tipo A)	Registro de datos y actualización de firmware vía USB
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, protocolo de interfaz
DISPONIBLE CON LA TARJETA FRONIUS DATAMANAGER 2.0 (SOLO SE NECESITA UNA TARJETA PARA HASTA 100 INVERSORES)	
Wi-Fi /Ethernet /SerIE / Datalogger and servidor web	Estandar inalámbrico 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU
6 E/S digitales configurables + 4 entradas digitales	Gestión de cargas eléctricas; encendido de señales, E/S multipropósito
Comunicación mediante línea de potencia (PLC)	Sí – Comunicación estándar SunSpec Rapid Shutdown
Compatibilidad con electrónica de nivel modular	Tigo TS4-F basado en SunSpec PLC (prueba pendiente)

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (VERSIONES 480V)

DATOS DE ENTRADA CD	SYMO 15.0-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Potencia FV Recomendada (kWp)	12.0 – 19.5	16.0 - 26.0	18.0 - 29.5	19.0 - 31.0
Máxima corriente de entrada nominal (MPP1/MPP2)	33.0 A / 25.0 A			
Maxima corriente (MPPT 1 + MPPT 2)	51 A			
Máxima corriente de entrada de corto circuito admisible (MPPT 1/MPPT 2)	49.5 A / 37.5 A			
Tensión nominal de entrada 480 V	685 V	710 V	720 V	
Rango de tensión de operación	200-1000 V			
Tensión de puesta en marcha	200 V			
Rango de tensión MPP	350-800 V	450-800 V	500-800 V	
Tensión máxima de entrada	1000 V			
Máximo conductor admisible en CD	6 AWG cobre, 6 AWG aluminio, 2 AWG cobre o aluminio con peineta de distribución			
Portafusibles integrados en CD	NA		6- y 6+	
Corriente máxima de entrada de corto circuito por terminal	33A		15A	
Número de MPPT	2			

* Se requiere Fronius Shade Cover para montaje en ángulo menor a 15° en exterior.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (VERSIONES 480)

DATOS DE SALIDA CA		SYMO 15.0-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Potencia Máxima de salida	480 V	14995 VA	19995 VA	22727 VA	23995 VA
Configuración de salida		480 V Delta +N**			
Rango de frecuencia (ajustable)		45-65 Hz			
Frecuencia nominal de operación		60 Hz			
Tamaño de conductor de CA admisible		AWG 14-AWG 6			
Distorsión armónica total		<1.5 %	<1.0 %	<1.25 %	<1.0 %
Factor de potencia (cos phi)		Ajustable (0.85 ind./0.85 cap.)			
Máxima corriente de salida	480 V	18.0 A	24.0 A	27.3 A	28.9 A
OCPD / Interruptor CA recomendado	480 V	25 A	30 A	35 A	40 A
Máxima eficiencia		98.0 %			
Eficiencia CEC	480 V	97.0 %	97.5 %	97.5 %	97.5 %

DATOS GENERALES	DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO				
Dimensiones (ancho x alto x largo)	51.1 x 72.4 x 22.6 cm				
Envolvente	NEMA 4X				
Consumo nocturno	< 1 W				
Tecnología del inversor	Sin Transformador				
Enfriamiento	Ventilador de velocidad variable				
Instalación	Interior y exterior, inclinación desde 0 a 90 grados *				
Temperatura ambiente admisible	-40 - +60 °C				
Humedad relativa admisible	0 - 100 % (sin condensación)				
Elevación	2000m con máximo voltaje de entrada de 1000 V / 3400 m con máximo voltaje de entrada de 850 V				
Terminales de conexión CD	6x CD+ y 6x CD- terminales de tornillo para cobre				
Terminales de conexión CA	Terminales de tornillo 14-6 AWG				
Certificaciones y cumplimiento de estándares	UL 1741-2010 Segunda Edición (incl. UL1741 Supplement SA 2016-09 for California Rule 21 and Hawaiian Electric Code Rule 14H), UL1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547-2003, IEEE 1547a-2014, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2017 Artículo 690, C22. 2 No. 107.1-16, UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013				

DATOS GENERALES	SYMO 15.0-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Peso	43.4 kg			

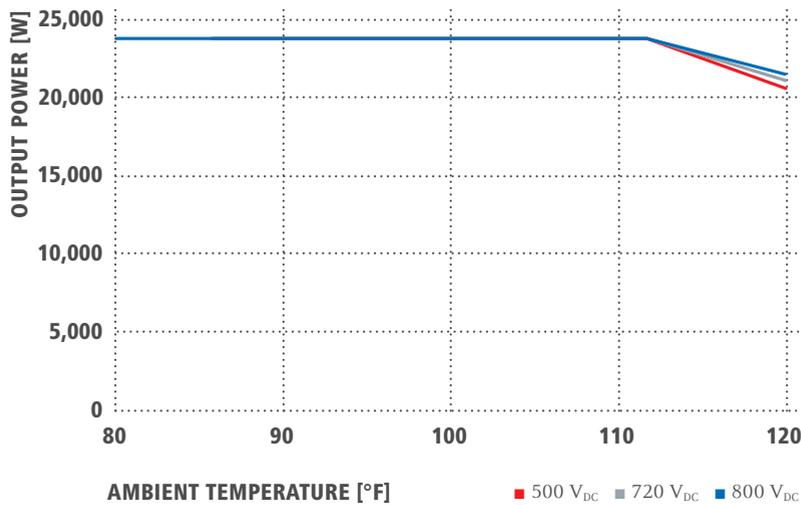
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO				
Polaridad inversa CD	Sí				
Anti isla	Interna, de acuerdo con UL 1741-2010, IEEE 1547-2003 y NEC				
Sobretensión	Reducción de potencia de salida / enfriamiento activo				
AFCI	Sí				
Cumplimiento de Rapid Shutdown	Sí				
Interrupción de falla a tierra por monitorización de aislamiento	Sí				
Desconexión de CD	Sí				

INTERFACES	DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO				
USB (Socket TIPO A)	Registro de datos y actualización de firmware via USB				
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar.Net; protocolo de interfaz				
DISPONIBLE CON LA TARJETA DATAMANAGER 2.0 (SOLO SE NECESITA UNA TARJETA PARA HASTA 100 INVERSORES)					
Wi-Fi* / Ethernet / Serial / Datalogger y servidor web	Estandar inalámbrico 802.11 b/g/n Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU				
6 E/S digitales configurables + 4 entradas digitales	Gestión de cargas eléctricas; encendido de señales, E/S multipropósito				
Comunicación mediante línea de potencia (PLC)	Sí - Comunicación estándar SunSpec Rapid Shutdown				
Compatibilidad con electrónica de nivel modular	Tigo TS4-F basado en SunSpec PLC (prueba pendiente)				

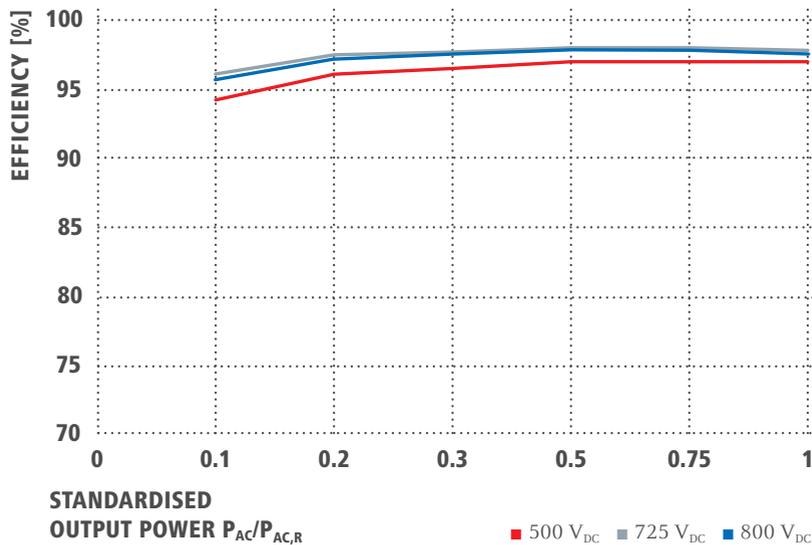
** + N para fines de detección - sin conductor de corriente.

* Se requiere Fronius Shade Cover para montaje en ángulo menor a 15° en exterior.

FRONIUS SYMO 24.0-3 480 CURVA DE REDUCCIÓN DE POTENCIA DE TEMPERATURA



FRONIUS SYMO 24.0-3 480 CEC CURVA DE EFICIENCIA



/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

TRES UNIDADES DE NEGOCIO, UNA MISMA PASIÓN: TECNOLOGÍA QUE ESTABLECE ESTÁNDARES.

Lo que en 1945 comenzó como una empresa unipersonal, en la actualidad marca los estándares tecnológicos en los sectores de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. En la actualidad contamos en todo el mundo con 4.550 empleados y 1.241 patentes concedidas por desarrollos de productos, poniendo de manifiesto nuestro innovador espíritu. La expresión „desarrollo sostenible“ significa para nosotros fomentar aspectos sociales y relevantes para el medio ambiente, teniendo en cuenta los factores económicos. Nuestro objetivo siempre ha sido el mismo: ser líderes en innovación.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite www.fronius.com v09 July 2018 ES



Fronius México S.A. de C.V.
Carretera Monterrey Saltillo 3279 E
Parque Landus Business Park
Santa Catarina, NL, 66367, México
pv-sales-mexico@fronius.com
www.fronius.com.mx

Fronius do Brasil Comércio, Indústria e
Serviços Ltda
CL Imigrantes, Bairro Battistini
Avenida Venâncio Tomás de Aquino No. 240
São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil
sac@fronius.com
www.fronius.com.br

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

ANEXO II

**REPORTE SIMULACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CUBRIR
LA DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA DEL PROYECTO MIRADOR**

System Advisor Model Report

Detailed Photovoltaic
None

240.0 DC MW Nameplate

-3.55, -78.46
UTC -5

Performance Model

Modules	
User-specified parameters	
Cell material	monoSi
Module area	2.58 m ²
Module capacity	550.1 DC Watts
Quantity	436,320
Total capacity	240.02 DC MW
Total area	1,125,145 m ²

Inverters	
Fronius International GmbH: Fronius Symo Advanced 24..	
Unit capacity	24.142 AC kW
Input voltage	500 - 800 VDC DC V
Quantity	8,284
Total capacity	199.99 AC MW
DC to AC Capacity Ratio	1.20
AC losses (%)	1.00

Four subarrays:	1	2	3	4
Strings	5,454	5,454	5,454	5,454
Modules per string	20	20	20	20
String Voc (DC V)	992.40	992.40	992.40	992.40
Tilt (deg from horizontal)	10.00	10.00	10.00	10.00
Azimuth (deg E of N)	180	180	180	180
Tracking	no	no	no	no
Backtracking	-	-	-	-
Self shading	no	no	no	no
Rotation limit (deg)	-	-	-	-
Shading	no	no	no	no
Snow	no	no	no	no
Soiling	yes	yes	yes	yes
DC losses (%)	4.44	4.44	4.44	4.44

Performance Adjustments	
Availability/Curtailment	none
Degradation	none
Hourly or custom losses	none

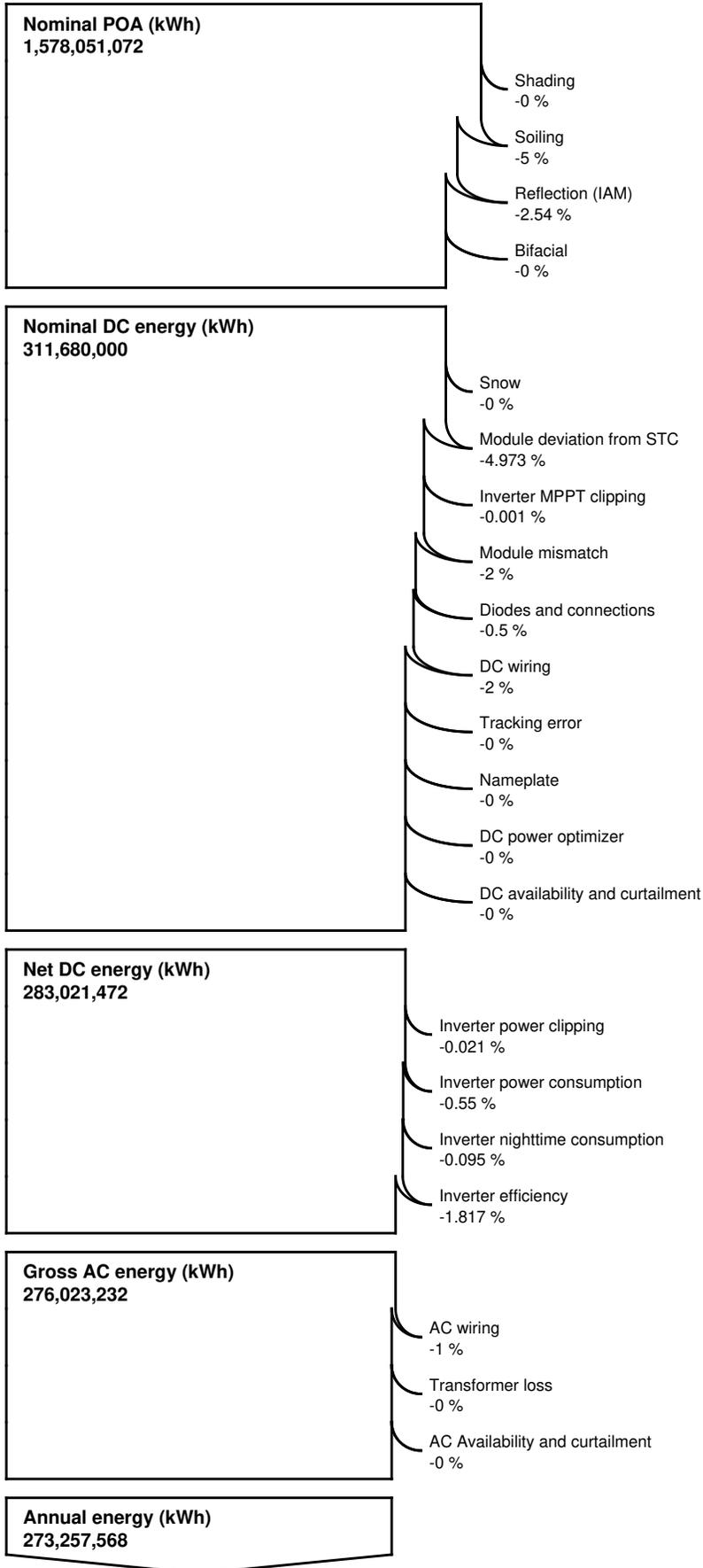
Annual Results (in Year 1)				
GHI kWh/m ² /day	3.91	3.91	3.91	3.91
POA kWh/m ² /day	3.00	3.00	3.00	3.00
Net to inverter	283,021,000 DC kWh			
Net to grid	273,257,000 AC kWh			
Capacity factor	13.0			
Performance ratio	0.81			

No Financial model.

Detailed Photovoltaic
None

240.0 DC MW Nameplate

-3.55, -78.46
UTC -5



ANEXO III
REPORTE SIMULACIÓN DE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS UBICADOS
EN LAS CIMAS DE LAS COLINAS DEL PROYECTO MIRADOR

System Advisor Model Report

Detailed Photovoltaic
None

5.1 DC MW Nameplate

-3.55, -78.46
UTC -5

Performance Model

Modules	
User-specified parameters	
Cell material	monoSi
Module area	2.58 m ²
Module capacity	550.1 DC Watts
Quantity	9,360
Total capacity	5.15 DC MW
Total area	24,136 m ²

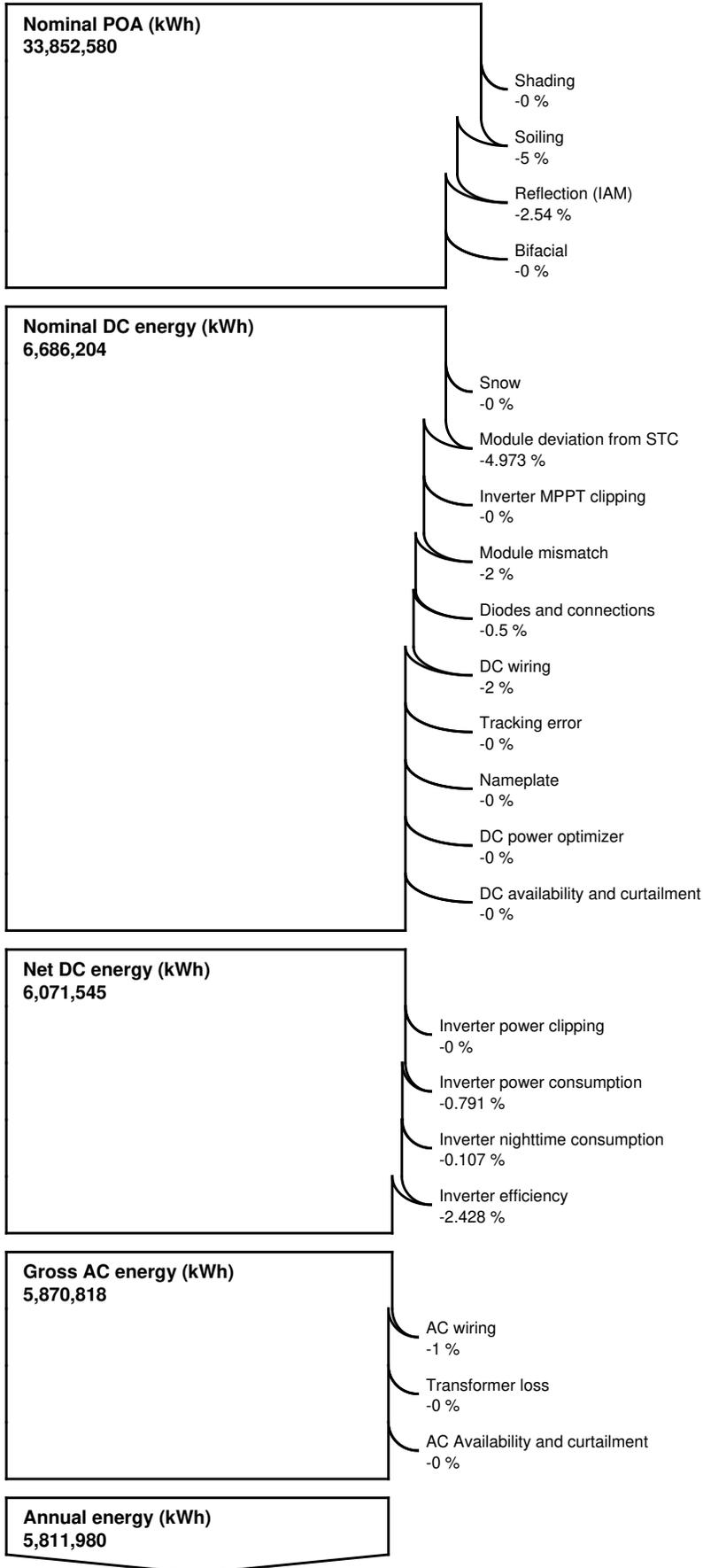
Inverters	
Fronius International GmbH: Fronius Symo Advanced 24..	
Unit capacity	24.142 AC kW
Input voltage	500 - 800 VDC DC V
Quantity	200
Total capacity	4.83 AC MW
DC to AC Capacity Ratio	1.07
AC losses (%)	1.00

Array	
Strings	624
Modules per string	15
String Voc (DC V)	744.30
Tilt (deg from horizontal)	10.00
Azimuth (deg E of N)	180
Tracking	no
Backtracking	-
Self shading	no
Rotation limit (deg)	-
Shading	no
Snow	no
Soiling	yes
DC losses (%)	4.44

Performance Adjustments	
Availability/Curtailment	none
Degradation	none
Hourly or custom losses	none

Annual Results (in Year 1)	
GHI kWh/m ² /day	3.91
POA kWh/m ² /day	3.00
Net to inverter	6,071,000 DC kWh
Net to grid	5,811,000 AC kWh
Capacity factor	12.9
Performance ratio	0.8

No Financial model.



System Advisor Model Report

Detailed Photovoltaic
None

6.3 DC MW Nameplate

-3.55, -78.46
UTC -5

Performance Model

Modules	
User-specified parameters	
Cell material	monoSi
Module area	2.58 m ²
Module capacity	550.1 DC Watts
Quantity	11,500
Total capacity	6.33 DC MW
Total area	29,655 m ²

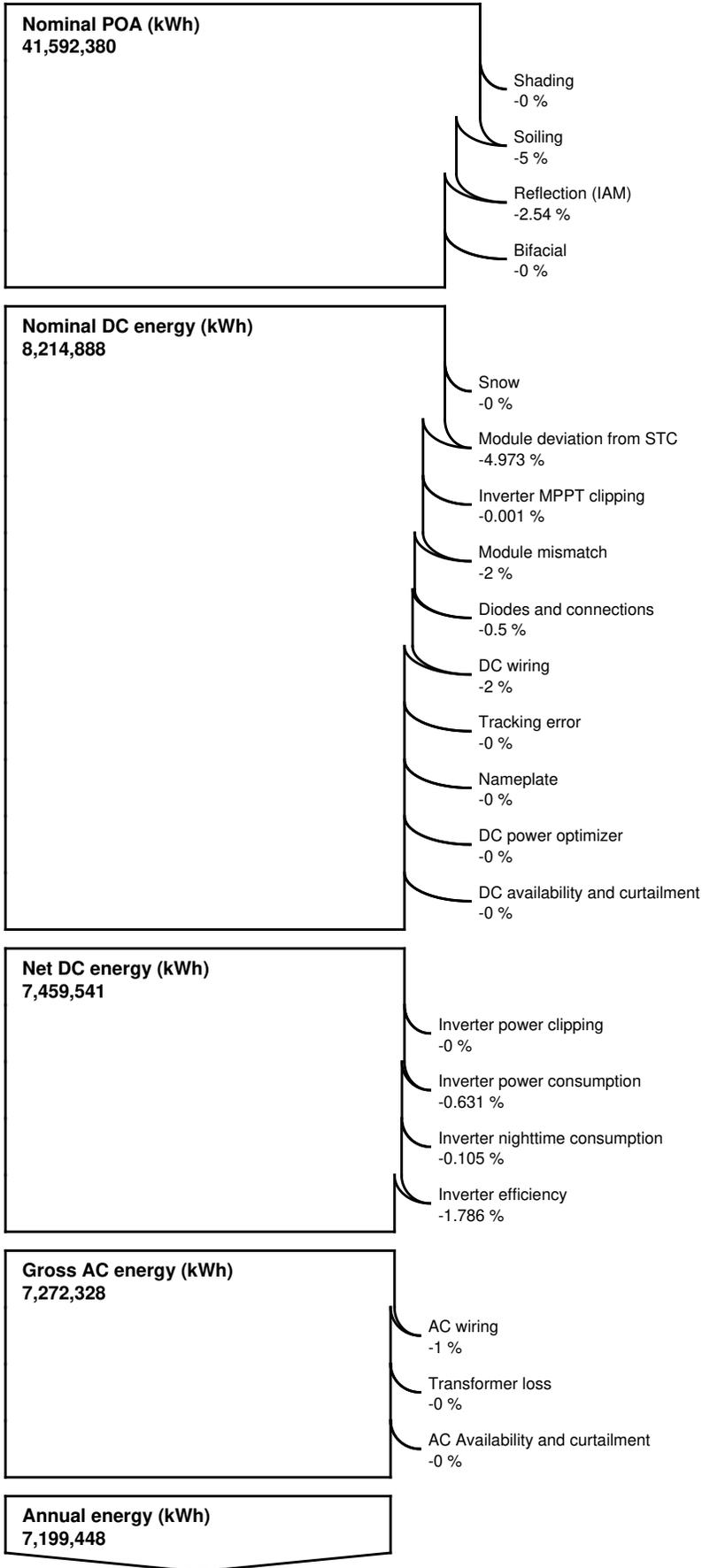
Inverters	
Fronius International GmbH: Fronius Symo Advanced 24..	
Unit capacity	24.142 AC kW
Input voltage	500 - 800 VDC DC V
Quantity	240
Total capacity	5.79 AC MW
DC to AC Capacity Ratio	1.09
AC losses (%)	1.00

Array	
Strings	575
Modules per string	20
String Voc (DC V)	992.40
Tilt (deg from horizontal)	10.00
Azimuth (deg E of N)	180
Tracking	no
Backtracking	-
Self shading	no
Rotation limit (deg)	-
Shading	no
Snow	no
Soiling	yes
DC losses (%)	4.44

Performance Adjustments	
Availability/Curtailment	none
Degradation	none
Hourly or custom losses	none

Annual Results (in Year 1)	
GHI kWh/m ² /day	3.91
POA kWh/m ² /day	3.00
Net to inverter	7,459,000 DC kWh
Net to grid	7,199,000 AC kWh
Capacity factor	13.0
Performance ratio	0.81

No Financial model.



ANEXO IV
REPORTE SIMULACIÓN DE UNO DE LOS SEIS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
FLOTANTES A UBICARSE EN EL DEPÓSITO DE RELAVES DEL PROYECTO
MIRADOR

System Advisor Model Report

Detailed Photovoltaic
None

32.7 DC MW Nameplate

-3.55, -78.46
UTC -5

Performance Model

Modules	
User-specified parameters	
Cell material	monoSi
Module area	2.58 m ²
Module capacity	550.1 DC Watts
Quantity	59,392
Total capacity	32.67 DC MW
Total area	153,155 m ²

Inverters	
Fronius International GmbH: Fronius Symo Advanced 24..	
Unit capacity	24.142 AC kW
Input voltage	500 - 800 VDC DC V
Quantity	1,250
Total capacity	30.18 AC MW
DC to AC Capacity Ratio	1.08
AC losses (%)	1.00

Four subarrays:	1	2	3	4
Strings	928	928	928	928
Modules per string	16	16	16	16
String Voc (DC V)	793.92	793.92	793.92	793.92
Tilt (deg from horizontal)	10.00	10.00	10.00	10.00
Azimuth (deg E of N)	180	180	180	180
Tracking	no	no	no	no
Backtracking	-	-	-	-
Self shading	no	no	no	no
Rotation limit (deg)	-	-	-	-
Shading	no	no	no	no
Snow	no	no	no	no
Soiling	yes	yes	yes	yes
DC losses (%)	4.44	4.44	4.44	4.44

Performance Adjustments	
Availability/Curtailment	none
Degradation	none
Hourly or custom losses	none

Annual Results (in Year 1)				
GHI kWh/m ² /day	3.91	3.91	3.91	3.91
POA kWh/m ² /day	3.00	3.00	3.00	3.00
Net to inverter	38,525,000 DC kWh			
Net to grid	36,943,000 AC kWh			
Capacity factor	12.9			
Performance ratio	0.81			

No Financial model.

Detailed Photovoltaic
None

32.7 DC MW Nameplate

-3.55, -78.46
UTC -5

