Universidad Técnica Federico Santa María
Sede Viña Del Mar – José Miguel Carreras.

PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN MÓVIL PARA MINERALES METÁLICOS

Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico Universitario en Minería y Metalurgia

Alumno:

Juan Pablo Araya Araya

Profesor Guía:

Sr. Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez

DEDICATORIA

En agradecimiento a mi Familia por entregarme su apoyo incondicional, a mi madre y padre por siempre estar ahí presentes ante cualquier adversidad, en agradecimiento a mis profesores que se dieron el tiempo por quedarse hasta tarde y me supieron entender, en agradecimiento a mis amigos por su apoyo incondicional y su reparo ante las necesidades, por los buenos momentos vividos y por los que vendrán y en agradecimiento especial a Óscar Manuel Segovia Ortiz por su entendimiento y la facilidad que me otorgo sin conocerlo de nada y sin pedir nada a cambio.

Gracias.

RESUMEN

Este trabajo de título consiste en la implementación de celdas de flotación móviles como ayuda hacia la pequeña minería por medio de una Propuesta de diseño, más concretamente en la cuarta región de Chile en la localidad de Punitaqui, esta última siendo el hogar de pequeños pirquineros de la zona y de plantas de mineral como pueden ser Santa Camila, en él se buscara ir desde lo más macro sobre la introducción al proceso productivo hasta lo micro en cuanto dimensionamiento, funcionamiento y asignación de procesos productivos dentro de un margen operable en referencia al de la pequeña minería. Por medio de análisis y propuesta del mercado actual se buscará llegar a un desenlace favorable para la propuesta de diseño en cuanto tendencias de mercado entre las demás ramas de la minería chilena tales como podrían ser la mediana y la gran minería, considerando factores como la transportabilidad del proceso de flotación, siendo este el concepto innovador dentro de los a destacar. Se abordaran temas como el tipo de mineral a considerar dentro de la pequeña minería, el proceso de conminución al que se debe de someter para ser comercializado y lograr una ganancia rentable mayor a la que ya manejan la pequeña minería, tanto como el dimensionamiento y creación de un sistema de flotación con recirculación de relaves, este último enfocado a etapas del proceso productivo como Rougher, Scavenger y Cleaner, además de los factores a considerar en la creación de un carro de arrastre que pueda entregar la movilidad a la propuesta.

En este trabajo se logró concluir de igual manera la poca factibilidad y rentabilidad económica que esta propuesta de diseño presenta en la pequeña minería, principalmente relacionada a la fluctuabilidad económica de ganancias de la pequeña minería, se espera un retorno a corto plazo sobre la inversión propuesta pero debido a la variabilidad de la producción de la pequeña minería esta no pude ser posible, no obstante a modo de conclusión se propuso la sustentabilidad del proyecto mediante el cambio de enfoque al que se está dirigido, de igual manera no se discrimina la opción de la utilización de esta propuesta para prevenir posibles propuestas relacionadas al tema.

ÍNDICE

Dedicatoria 2
RESUMEN 3
ÍNDICE 4
ÍNDICE DE FIGURA 6
ÍNDICE DE TABLAS 7
SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS 8
INTRODUCCIÓN 10
OBJETIVOS 12
CAPÍTULO 1: PROCESO DE FLOTACIÓN Y ESTUDIO FUNCIONAL DE SUS COMPONENTES. 13
1.1 PRINCIPIO DE LA CONMINUCIÓN 14
1.1.1 Chancado 14
1.1.2 Molienda 15
1.2 MINERALES CONSIDERADOS A TRATAR 16
1.2.1 Sulfuros y Óxidos de Cobre 17
1.2.2 Proceso de concentración de minerales a través de la flotación 17
1.3 FLOTACIÓN 18
1.3.1 Reactivos 20
1.4 TIPOS DE CELDAS DE FLOTACIÓN 21
1.4.1 Celdas de Flotación Mecánicas 21
1.4.2 Celdas de Flotación Neumáticas 21
1.4.3 Celdas de Flotación Columnares 22
1.5 ETAPAS DE LA FLOTACIÓN 22
1.5.1 Etapa de Flotación de Recuperación Rougher 23
1.5.2 Etapa de Flotación Depuradora Scavenger 24
1.5.3 Etapa de flotación de limpieza Cleaner y Re-Cleaner 24
1.6 ESTUDIO DE COMPONENTES DE CELDAS DE FLOTACIÓN 25
1.6.1 Válvulas de aire 26
1.6.2 Mecanismo accionador 26
1.6.3 Mecanismo de alimentación y extracción 27
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y CREACIÓN DE UN DISEÑO PARA UN SISTEMA DE FLOTACIÓN DE MINERALES MÓVIL. 29
2.1 RECOPILACIÓN DE DISEÑOS PROPUESTOS POR EL MERCADO 30
2.1.1 Presentación general de los modelos 31
2.2 EQUIPOS ADAPTABLES CONSIDERADOS 33
2.3 SELECCIÓN DEL EQUIPO ADAPTABLE 35
2.3.1 Comparativa 35
2.4 VARIABLES DE RANGO OPERATIVO 36
2.4.1 Variables a considerar en el proceso móvil 38

2.5 DISEÑO A PROPONER 41
2.5.1 Método de transporte propuesto 41
2.5.2 Consumo celdas 45
2.5.3 Flowsheet a proponer sobre el carro de arrastre 46
CAPÍTULO 3: COSTOS ASOCIADOS A LA CREACIÓN DE LA PROPUESTA Y VIABILIDAD. 49
3.1 DEFINIR MATERIALES NECESARIOS PARA LA FABRICACIÓN 50
3.1.1 Carro de arrastre. 50
3.1.2 Flowsheet 54
3.2 COSTOS DE CREACIÓN 56
3.2.1 Carro de arrastre 56
3.2.2 Flowsheet 61
3.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO 62
3.3.1 Recuperación 63
CONCLUSIONES 67
BIBLIOGRAFÍA 69

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Producción de cobre de la pequeña minería por regiones en el 2015 10
Figura 2: Ejemplo de Chancador de mandíbula serie YJ YecoMachinery 15
Figura 3: Ejemplo de molino de bolas 0.2-90T Cotecno 16
Figura 4: Ejemplo de diagrama de flujo simple Modificado, Mina el Soldado 18
Figura 5: Ejemplo de funcionamiento de flotación de minerales 19
Figura 6: Celda de Flotación 911MPESF-1.2 26
Figura 7: Esquema celda de flotación Sub-a, 911MPESF-1.2 27
Figura 8: Esquema lateral de celda de flotación sub-a, 911MPESF-1.2 28
Figura 9: Esquema simple Carro de Arrastre 43
Figura 10: Esquema de Posicionamiento sobre el carro de arrastre 44
Figura 11: Esquema simple de trabajo para flotación de minerales 46
Figura 12: Esquema de trabajo móvil 48
Figura 13: Esquema Estructura principal y refuerzos 51
Figura 14:Esquema Superficie esperada 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costos Carro de Arrastre 57
Tabla 2: Costos Consumibles 60
Tabla 3: Costos Mano de Obra 60
Tabla 4: Costos FlowSheet 61
Tabla 5: Recuperación Carro de Arrastre 64
Tabla 6: Recuperación Consumibles 65
Tabla 7: Recuperación FlowSheet 66

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

COCHILCO : Comisión Chilena del Cobre

SERNAGEOMIN : Servicio Nacional de Geología y Minería

SII : Servicio de Impuesto Internos

ENAMI : Empresa Nacional de Minería

SOAP : Seguro Obligatorio de Accidentes Personales

ASTM : American Society for Testing and Materials

AWS : Sociedad Americana de Soldadura

IVA : Impuesto al Valor Agregado

SIMBOLOGIA

m : Metros

mm : Milímetros

Kw : Kilovatio

KVA : Kilovoltamperio

Kg : Kilogramo

Ton : Tonelada

PSI : Libras por pulgada cuadrada

Cm : Centímetro

In : Pulgada

RPM : Revoluciones por minuto

m3/min: Metros cúbicos sobre minuto

% : Porcentaje

V : Volt

Pf : Factor de Potencia

Lb : Libra

INTRODUCCIÓN

Chile se ha caracterizado en los últimos años por poseer una industria minera diversa y detallada, en donde se destaca no solamente la explotación de cobre, sino de otros minerales como el hierro, molibdeno, plata y oro. Tanto a gran escala, como además a pequeña escala, esta última es la que dará hincapié a este trabajo.

En Chile la pequeña minería se encuentra organizada por diversas organizaciones y legislaciones, estas son Sernageomin, SII y Enami, estas entidades aseguran que este sector de la minería presenta menor equipamiento de maquinaria para realizar su proceso, condiciones laborales más duras y una mayor inestabilidad en ganancias debido a la caída de ciclos de precios. Con una participación menor de alrededor del 1% en todo el proceso minero a nivel país y con un estimado de entre 58,4 mil toneladas anuales en todo el país. (Comisión Chilena del Cobre, 2016)

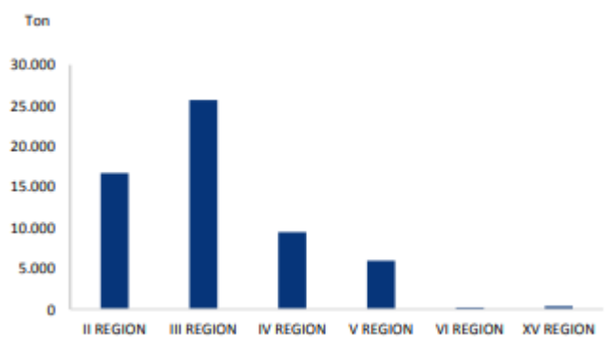

Figura 1: Producción de cobre de la pequeña minería por regiones en el 2015

Fuente 1: Sernageomin (Comisión Chilena del Cobre, 2016)

la pequeña minería se presenta como una actividad poco productiva, como es mencionado anteriormente debido a la menor accesibilidad a equipos mineros, Esta se subdivide en dos ramas, la pequeña minería como tal y la pequeña minería artesanal, por lo general esta última es dirigida por familias de pirquineros dedicadas al rubro o pequeños pirquineros que trabajan por medio de contratistas en pequeñas platas de procesamiento de minerales, estas últimas centradas mayormente en la extracción y tratamiento de cobre, hierro, plata y oro. En términos de empleabilidad, la pequeña minería da cuenta a 6335 trabajadores (Comisión Chilena del Cobre, 2016) aproximadamente, no siendo un número menor este a su vez alimenta a otros rubros como el transporte, comercio, etc., dada la baja participación que esta aporta, el número de la empleabilidad

va a disminuyendo así como el de la producción, con pérdidas considerables del 17,9% registradas en 2014 y otra en del 14,2% en el año 2015, en la actualidad este número no ha seguido disminuyendo pero se estima que pudiera fluctuar debido a la escases de recursos hídricos como la poca cantidad de equipos mineros puestos a trabajar.

El objetivo de esta propuesta es generar un diseño de flotación de minerales metálicos más accesible para pequeños mineros ya sean del rubro de la pequeña minería como tal o artesanales, ya que considerando su baja participación en la producción a nivel país, es notable la dificultad para adquirir estos equipos por cuenta propia debido a sus elevados costos por tanto la utilización de equipos en acopios destinados como la misma adquisición de los equipos, esto generaría una mejor sustentabilidad por medio de la venta de productos más procesados a organizaciones como Enami, generando y obviando costos relacionados al descuente en los lugares destinados a estas tareas puestos a disposición de las mismas organizaciones, por tanto se alzaría un mayor porcentaje de ganancia para él productor. Este diseño será propuesto mediante una recopilación técnica en base a lo solicitado por las condiciones de trabajo de la pequeña minera, deberá ser capaz de cumplir con sus normas operacionales, legislación vigente y la correcta manipulación de los desechos que pueda producir, a su vez mediante un análisis de mercado se calcularan costos asociados a la creación del diseño mediante el dimensionamiento de sus componentes para su evaluación como producto comercial para su futura recuperación invertida.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer el diseño de un sistema de flotación móvil de celdas de flotación de minerales metálicos mediante el dimensionamiento de sus componentes necesarios y variables de desplazamiento consideradas para la mejora del proceso de flotación y accesibilidad al mismo en la pequeña minería, considerando la factibilidad y viabilidad del diseño propuesto en el impacto generado dentro de la industria estudiada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el proceso de flotación y procesos previos a la misma mediante recopilación técnica para la comprensión del funcionamiento de los componentes de la celda de flotación y sus variables operacionales consideradas.

- Crear diseño del sistema de flotación móvil por medio de los componentes dimensionados y de las variables para un equipo transportable y funcional.

- Calcular costos asociados de creación y viabilidad para el diseño del sistema de flotación móvil mediante referencias del mercado y recuperación propuesta con la finalidad evidente de factibilidad del diseño.

CAPÍTULO 1: PROCESO DE FLOTACIÓN Y ESTUDIO FUNCIONAL DE SUS COMPONENTES.

1.1 PRINCIPIO DE LA CONMINUCIÓN

Como vía introductoria hacia el proceso de flotación es necesario conocer procesos previos a la misma para comprender de mejor manera el desarrollo necesario para el tratamiento del material en cada etapa. De igual manera para comprender la finalidad de esta recopilación técnica compuesta por la definición de diversos procesos para la comprensión de la flotación y como se empleara eventualmente en la propuesta de diseño a implementar en este trabajo, es necesario indagar en procesos o etapas consideradas antes de la flotación, ya que al saber el recorrido y tratamiento por el que pasa el material a tratar, podemos visualizar una mejor forma de ver los factores que interferirían dentro de un proceso funcional móvil.

El concepto de conminución viene de la acción de identificar el proceso reductivo del mineral, de esta manera se liberan los minerales de interés de la mena, para llegar al resultado con una granulometría específica, en primer lugar, se habla de la tronadura mediante un diagrama de disparo, es posible la liberación de fragmentos de menas con una infraestructura de interés.

El objetivo presente en la conminución es la reducción de tamaño de las menas que portan el mineral de interés, este proceso es llevado a cabo mediante varias etapas reductivas de la materia ya que existe una diversidad notable de granulometría del mismo, el resultado final de la etapa de conminación es un concentrado con cualidades y requerimientos necesarios para la flotación.

1.1.1 Chancado

Para lograr una comprensión mayor sobre la etapa de la flotación, es necesario tener en cuenta la etapa de chancado, ya que en esta se acondicionara el mineral proveniente de la mina o explotación minera en la cual se estima trabajar, la comprensión de este proceso es fundamental para que en la etapa de flotación que es donde rebosa el interés de la propuesta puede concluirse de manera correcta, ya sea por factores a considerarse como la variación de la granulométrica de la roca y las condiciones de la misma con las que se trabajara en la etapa previa a la flotación siendo esta la molienda, gracias al seguimiento de estos factores es posible observar en cómo afectaría un buen desempeño en la etapa del

chancado en base a la etapa de proceso de interés a trabajar, siendo esta el desarrollo fructífero de la etapa de flotación de minerales.

El Chancado es la etapa en la cual se aplica la reducción de tamaño del mineral por medio de Chancadores, estos equipos de grandes proporciones y gran resistencia al impacto, son los encargados de reducir la granulometría del mineral por medio de movimientos de impacto, se subdividen en categorías aplicables a estados del proceso, tales como chancado primario, con la tarea principal de generar un tamaño máximo de 8 pulgadas en el mineral, secundario, en esta etapa el mineral es reducido hasta 3 pulgadas en su totalidad y terciario, es el encargado de llevar el mineral a ½ pulgada (Rumbo Minero, 2018), a su vez también se dividen en tipos de estructuras, tales como chancador de mandíbula, utilizado mayormente en el chancado primario debido a su versatilidad y chancadores de cono, utilizados mayormente en chancado secundario y terciario. El producto obtenido de este proceso es apilado en pilas para luego ser dirigido a la etapa de molienda.

Figura 2: Ejemplo de Chancador de mandíbula serie YJ YecoMachinery

Fuente I: Catálogo YecoMachinety serie YJ (YecoMachinery CO., Ltd., 2021)

1.1.2 Molienda

Para que el proceso de flotación pueda realizarse de manera correcta es necesario reducir aún más el tamaño posterior al chancado, este proceso consiste en la reducción del mineral a 0,18 milímetros (Codelco Educa, 2018), mediante equipos llamados Molinos, estos pueden ser de molienda tradicional o mayormente conocido de barras o puede ser un molino de bolas, en cualquiera que sea el caso, ambos muelen mecánicamente el material,

es decir que el funcionamiento de los molinos se basa en la lógica de girar y a medida que va girando el mineral va reduciendo aún más su tamaño por medio del impacto generado en su interior, otro punto a destacar es que en esta etapa es donde se agrega el agua que posteriormente será usada en la etapa de flotación, como también es donde se le agregan los reactivos dependiendo del caso del mineral a trabajar.

Figura 3: Ejemplo de molino de bolas 0.2-90T Cotecno

Fuente II: Catálogo Cotecno molino de bolas 0.2-90T (Cotecno , 2021)

1.2 MINERALES CONSIDERADOS A TRATAR

En la pequeña minería existen diversos tipos de minerales a considerar para su flotación, si bien es cierto que dentro de la pequeña minería el ingreso de capitales es dado mayormente por la venta de concentrado en seco de mineral sin procesar, se puede dar el caso de una planta de flotación para tratar minerales de mayor interés agregado, de este modo se busca trabajar con minerales de mayor interés, tales como los que contienen sulfuros de cobre en ellos, de igual manera se trabaja con minerales oxidados de cobre pero con métodos diferentes a la flotación o con tratamientos específicos, aunque hasta el momento es difícil incorporar una flotación mixta, otros minerales como la plata y el oro son mayormente encontrados en los sulfuros de cobre como minerales secundarios a extraer, no obstante su obtención se basa en el mismo concepto, como fue mencionado anteriormente el proceso de flotación ocurre en varias ocasiones con el fin de llegar a una ley más apta para trabajar, esto haciendo énfasis en el cobre, una vez logrado esto se le da prioridad a la plata y el oro, ejecutando y acondicionando la celda para que cumpla con cualidades óptimas para la flotación de la plata y el oro, cabe destacar que esta segunda recuperación se da más en mineras de mayor envergadura ya que lo obtenido es reducido

a partículas por millón del mineral, esto dentro de una planta de flotación de una pequeña minera implicaría un gasto mayor.

Otro mineral encontrado en estos procesos es el sulfuro de hierro o Pirita, se compone mayoritariamente por un 53,48% de azufre y un 46,52% de hierro, se puede manipular mediante el uso de reactivos depresores para que no influyan en la flotación de minerales de interés como el Cobre, esto se hace ya que la Pirita no es considerado un mineral de interés elevado.

1.2.1 Sulfuros y Óxidos de Cobre

Los minerales sulfurados suelen ser mezclas de sulfuros de cobre con hierro, combinados en diferentes formaciones a lo largo del país con una gran diversidad de minerales secundarios adheridos a el cobre, como el oro, la plata y el molibdeno, este último presente en forma de molibdenita, los sulfuros de cobre más comunes a encontrar en Chile son la Calcopirita, Bornita, Enargita y tetraedrita, relacionados generalmente al proceso de flotación y pirometalurgia debido a sus cualidades naturales hidrofóbicas y aerofílicas que estos poseen, después son potenciadas mediante uso de reactivos en la etapa de flotación. Los óxidos de cobre del lado contrario son cada vez más escasos en Chile, y se estima que desde el año 2015 conformaban el 30,8% de mineral de cobre de Chile, al tratarse de mineral oxidado la disminución de esta cada vez es más rápida, con un estimado al año 2027 de solo un 12% de proyección (Cochilco, 2016), esto debido mayormente a la ubicación de este en el plano geográfico, ya que, este se encuentra mucho más en la superficie del yacimiento a explotar, los óxidos más comunes encontrados en Chile son la Malaquita, Azurita, Crisocola, Cuprita y Brochantita, gracias a este pequeño análisis podemos generar un pronóstico para futuros años, es decir, el tratamientos de sulfuros de cobre está cada vez más en crecimiento, debido al plan estratégico de las mineras reconocidas de Chile de llevar el proyecto de explotación de manera subterránea, no obstante siguen existiendo yacimientos a cielo abierto con un interés elevado a explotar.

1.2.2 Proceso de concentración de minerales a través de la flotación

El proceso completo es en realidad una secuencia de operaciones ligadas al condicionamiento de resultados de etapas anteriores como el Chancado, Molienda, Flotación, Filtración del concentrado y tratamiento de relaves de proceso, todo este

proceso de concentración es importante para lograr un buen resultado en la flotación, desde la perspectiva de la pequeña minería se puede apreciar las fases por las que tiene que pasar el mineral de interés para generar un mayor valor agregado, por lo general es difícil visualizar un diagrama de flujo en estas pequeñas plantas de concentrado, mayormente se asignan diagramas simples con equipos que realizan la primera etapa del proceso como tal.

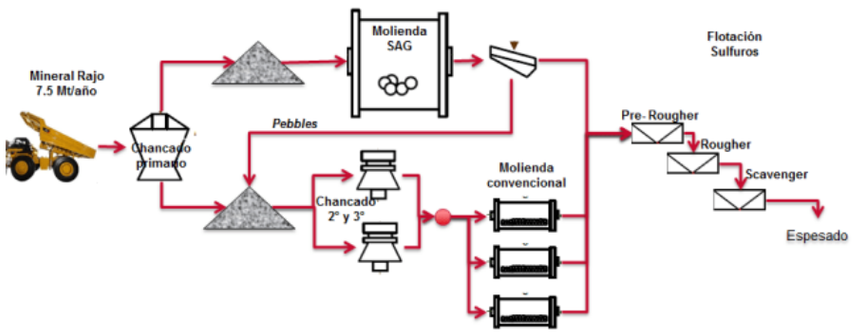

Figura 4: Ejemplo de diagrama de flujo simple Modificado, Mina el Soldado

Fuente 2: El Soldado, AngloAmerican

1.3 FLOTACIÓN

Compuesta por materias ya obtenidas de procesos anteriores como el chancado y la molienda, la flotación se basa en la utilización de enormes piscinas o también llamadas celdas de flotación, estos equipos mineros crean un entorno favorable para la recuperación de minerales sulfurados en su máxima pureza posible, mediante el uso de reactivos se crea este fenómeno físico-químico.

Permite concentrar un mineral en específico o un conjunto de minerales de interés provenientes del concentrado de la molienda, ya una vez obtenida nuestra materia prima, se bombea aire hacia las celdas de flotación, generalmente esta acción es ejercida desde el fondo de la celda para que las partículas de mineral que yacen dentro de la celda se adhieran a burbujas de aire y eventualmente suban para acumularse en forma de espuma, este fenómeno es debido gracias al uso de reactivos puestos en la etapa previa que es la molienda.

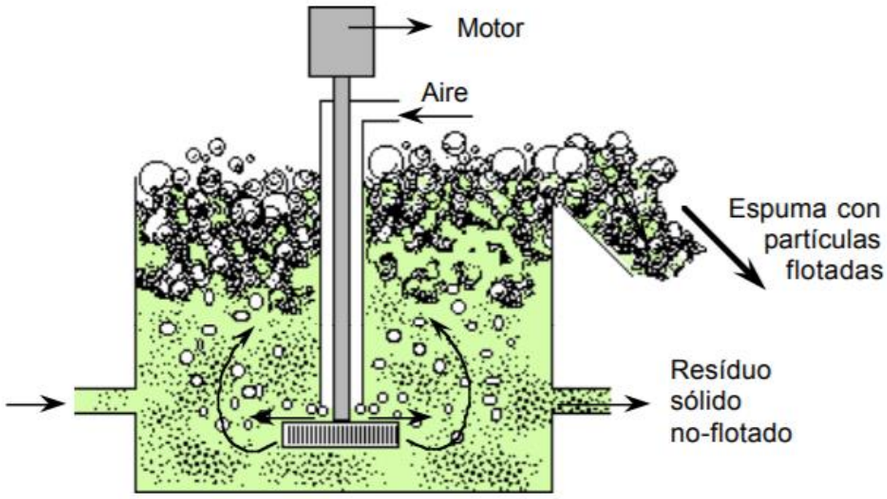

Figura 5: Ejemplo de funcionamiento de flotación de minerales

Fuente III: Fundamentos de la flotación S335-A, Jean-Louis Salager y Ana Forgiarini de Guedez

1.3.1 Reactivos

Los reactivos son sustancias químicas capases al cambio electivo en sus fases y propiedades, generalmente usados para crear condiciones favorables en procesos de flotación, añadiendo nuevas cualidades al mineral para el fácil desenlace de él en el proceso, existen distintos tipos de reactivos con diferentes tareas cada uno, estos son:

- Reactivos colectores: tienen como función generar una cualidad hidrofóbica en el mineral de interés, mayormente sulfuros de cobre, su busca generar esta condición hidrofóbica para que el mineral logre separarse del agua y buscar un lugar dentro de la burbuja.

- Reactivos depresores: su objetivo es generar condiciones aerofobicas o también llamadas inversas a los colectores en el resto de minerales de menor interés, esto se hace para separar de manera más efectiva minerales como la pirita que en el caso de la flotación del cobre son considerados de baja recuperación.

- Reactivos espumantes: la tarea de los espumantes es generar burbujas resistentes que puedan contener de manera segura el mineral de interés a flotar, una prueba visible de este reactivo es la imagen de burbujas sobresalientes de mayor espesor.

- Otros aditivos: los aditivos cumplen con la función de estabilizar en un pH determinado la acidez de la celda, con el fin de no tener problemas a la hora de llevar a cabo la flotación.

una vez la espuma se rebaza cae sobre canaletas, es filtrada o decantada la pulpa para luego ser dirigida a estanques de almacenaje donde serán transportadas a la siguiente etapa del proceso, cabe destacar que el proceso de flotación es llevado a cabo en reiteradas ocasiones, esto con el fin de cumplir con ciertos parámetros o condiciones de la pulpa, ya que debe cumplir con una ley del 31% (Codelco Educa, 2018), una vez llegado a esos parámetros el concentrado final obtenido del proceso es secado por medio de filtros, con el fin de que el producto llegue seco a la etapa de fundición.

1.4 TIPOS DE CELDAS DE FLOTACIÓN

Existen distintos tipos de celdas de flotación, las cuales se diferencian en su funcionamiento, tarea a cumplir e infraestructura, se dividen principalmente en tres tipos, estas pueden ser mecánicas, neumáticas o Columnares, a continuaciones se definirán cada una de estas, para comprender su funcionamiento de mejor de manera.

1.4.1 Celdas de Flotación Mecánicas

Las Celdas de Flotación del tipo mecánica se caracterizan principalmente por la utilización de un impulsor giratorio que se encuentra en la parte inferior de la celda, este es accionado por un motor, este impulsor tiene como labor agitar la pulpa que se encuentra en la celda de flotación mediante succión por vacío con aire desde el exterior, esto nos entregara una pulpa extendida por todo el fluido, con cualidades para la generación de burbujas dentro de la celda de flotación.

Este tipo de celda de flotación tiene como cualidad especial el apilamiento de más celdas del mismo tipo en un mismo proceso, esto quiere decir, la unión de celdas para la generación de un mayor flujo de trabajo en su funcionamiento. Frecuentemente este tipo de celdas cuentan con una diversidad de tamaños, debido a que puede ser utilizada en la industria, tanto como a nivel de laboratorio demostrativo.

1.4.2 Celdas de Flotación Neumáticas

Las celdas de flotación del tipo neumática se diferencian de las mecánicas por la ausencia de un impulsor, además estas hacen uso de aire comprimido para airear y mover el fluido dentro de la celda, por lo general debido a su funcionamiento dependientes de nuevas variables como es el aire comprimido, estas no son utilizadas con mucha frecuencia en el sector industrial y su uso está más destinado al nivel de laboratorio demostrativo y explicativo. Si bien dentro de la industria son vistas como un equipo eficiente, a nivel de laboratorio son perfectas para la labor, esto debido a que se puede controlar el flujo de generación de burbujas, esto nos entrega experiencias mucho más exactas en cuanto a tiempo y potencia de aire empleada en la celda de flotación.

1.4.3 Celdas de Flotación Columnares

Las columnas de flotación se basan en el mismo principio de las celdas de flotación mecánicas pero reemplazando el sistema de agitación mecánica por un sistema de inyección de aire mediante tubos rociadores, el proceso que se emplea dentro de la columna es de la separación de minerales de los minerales aireados, donde las superficies de los minerales seleccionados se vuelven hidrofóbicos por medio de acondicionamiento de reactivos, entre los puntos a destacar de la flotación columnar se pueden encontrar altos y bajos, ya que en comparación a celdas mecánicas tradicionales, la flotación en columna es mucho más lenta, pero del lado contrario se pueden apreciar notables mejoras, tales como, contar con una cinética mejorada, mejoras en el rendimiento metalúrgico, mejoras en el control de la pulpa, menor consumo de energía, menor espacio empleado en plantas de flotación, menor costo productivo y de manutención.

1.5 ETAPAS DE LA FLOTACIÓN

El equipo de flotación o también llamado celda de flotación no es más que una maquina capaz de generar el contacto entre la burbuja y la partícula, tanto como a adhesión entre ellas mismas como la separación selectiva de ellas.

Una celda de flotación debe ser capaz de mantener una adecuada suspensión y dispersión de la pulpa, facilitar la incorporación de aire al proceso, disponer de una zona sin turbulencias para la formación y acumulación de la espuma, debe ser capaz de cumplir con las necesidades recuperativas del concentrado y permitir la variación de parámetros operacionales, ya sea flujo de aire que varié o el nivel del contenido del interior de la celda.

Existen dentro de la industria los así llamados circuitos de flotación, estos son celdas con cualidades específicas arregladas en serie formando un banco de flotación, este diseño de circuito de flotación generalmente está compuesto de varias etapas recuperativas ya que según la teoría actual impuesta no es posible recuperar el mineral valioso y eliminar la ganga en un solo proceso recuperativo sin sacrificar una variable, el objetivo de este trabajo más allá de generar un equipo móvil de flotación es el de reducir a máxima escala el circuito como tal para que sea transportable.

Cómo fue señalado anteriormente en un circuito de flotación convencional existen varias etapas recuperativas como a su vez existen distintos equipos ligados a cada etapa, a continuación, se definirán los distintos equipos relacionados a cada etapa.

1.5.1 Etapa de Flotación de Recuperación Rougher

La etapa rougher o también conocida como la etapa de recuperación primaria, en ella se generan altos niveles de recuperación y se generan una gran parte de la eliminación de la ganga, esto es debido que el concentrado trabajado en la etapa Rougher está constituido con una granulometría con cualidades más fáciles de recuperación. debido a que en la etapa rougher se recibe el primer concentrado de la molienda, también se obtienen grandes resultados, pero a su vez necesita etapas de limpieza posteriores debido a que en la etapa primaria existe una gran cantidad de mineral, pero de baja ley, esta ley puede ser aumentada con procesos de limpieza posteriores en el circuito.

El resultado de la etapa Rougher pueden ser colas finales del proceso o también pueden ser concentrado de alimentación para la etapa siguiente, también pueden ser introducidas colas o relaves de etapas siguientes en el proceso, ya sean colas de la etapa de limpieza que requiera ser procesadas nuevamente desde la primera etapa.

A razón de que en la etapa Rougher se generan una gran cantidad de concentrado que puede ser de etapa final, es decir, que cumpla con las cualidades necesarias para salir del proceso de flotación, esta etapa también se considera como una etapa unitaria en la pequeña minería debido a que entrega grandes resultados que pueden ser tratados en la etapa de fundición, de esta forma la etapa rougher será considerada como guía en este trabajo debido a la gran cantidad de resultados que entrega y a la versatilidad de tratamiento de sus colas de relave ya que si se tratara de un circuito industrial estas colas podrían ser reincorporadas en la primera etapa y tratadas nuevamente como concentrado primario de esta manera se podría generar teóricamente un circuito unitario pero con el sacrificio de alta demanda de recursos, ya sea el uso excesivo uso del recurso hídrico, como la gran cantidad de energía necesaria para accionar el proceso unitario, estos déficit pueden ser justificados con los resultados del concentrado ya que al ser pequeña minería el costo de uso excesivo de recursos se vería reflejado en la ganancia neta del pirquinero.

1.5.2 Etapa de Flotación Depuradora Scavenger

La etapa Scavenger o también llamada etapa de barrido, tiene como objetivo generar un aumento en la recuperación de minerales útiles a partir de las colas de la etapa Rougher, es el proceso previo a la etapa de limpieza y por lo general es utilizado en circuitos de flotación ligados a una limpieza posterior, debido a que en la etapa Scavenger posee una producción de concentrado de baja ley, como también maneja colas finales de proceso, no obstante su concentrado sea mayormente de baja ley, el volumen manejado en esta etapa es aún mayor al de la etapa rougher, ya que en esta se recupera la mayor cantidad de mineral valioso.

La alimentación de la que dispone esta etapa son concentrados de la etapa Rougher para una recuperación aun mayor, las colas de etapas siguientes como la de limpieza que requieran ser procesadas desde una etapa anterior a la misma, las colas de la etapa Rougher para una verificación de mineral de interés y las mismas colas de la etapa Scavenger, debido a que esas serán las que posteriormente se dirijan a la etapa de limpieza.

1.5.3 Etapa de flotación de limpieza Cleaner y Re-Cleaner

Las etapas de limpieza del mineral son constituidas generalmente por 2 o más, esto con la finalidad de aumentar la ley de los concentrados aun sabiendo que se pueda generar un baja recuperación de cantidad de mineral, es la etapa final del proceso que entrega lo así llamado concentrado final, de esta forma, al ser la etapa que da fin al proceso, se deben tener ciertas consideración con el manejo de la pulpa para cumplir con los parámetros solicitados, estas consideraciones a aplicar son las siguientes:

- Utilización de bajos porcentajes de sólidos en las pulpas de flotación, esto se aplica con la razón de obtener la máxima cantidad de ley como resultado.

- Menor velocidad de agitación de la celda, lo ideal es trabajar entre un rango de agitación de entre 800 y 900 RPM dentro de la celda, de igual manera, esto se aplica con el fin de tener una mayor recuperación de ley y tener un mejor manejo de la pulpa a trabajar.

- No incorporar reactivos dentro de esta etapa, ya que la pulpa ya posee cualidades beneficiosas para la recuperación, en algunos casos se da la oportunidad de agregar depresivos, pero solo cuando la pulpa no cumple con las cualidades de selectividad deseadas.

- Poseer un margen de mayor altura en cuanto a la zona de las espumas, preferiblemente que el rango varié entre 5 a 6 pulgadas.

Como fue mencionado antes el resultado de esta etapa es considerado como el concentrado final del proceso, ya dispuesto a seguir avanzando a la siguiente etapa de obtención, pero, no obstante el relave de esta etapa es reutilizado en el mayor de los casos y propuesto a la etapa de limpieza anterior en el circuito, esto debido a que se espera una recuperación total del relave en circuitos de flotación industriales, este nivel de depuración del mineral no es posible en la pequeña minería o hasta en algunos casos en la mediana minería, por lo general estos grados de la minería no posee el equipo necesario para llevarlo a esos niveles de leyes y recurren en muchos casos a plantas de flotación especializadas a tratar con concentrados de empresas o plantas más pequeñas, considerar esta variable para poder introducir la flotación a la pequeña minería es fundamental, ya que nos entregara los parámetros en los cuales trabajar para lograr resultados óptimos de ganancia.

1.6 ESTUDIO DE COMPONENTES DE CELDAS DE FLOTACIÓN

En lo propuesto a continuación se entrará más en detalle en el funcionamiento de las piezas de una celda de flotación mecánica sub-a, correspondiente a las etapas Rougher, Scavenger y Cleaner, más concretamente el modelo 911MPESF-1.2, este modelo en específico fue propuesto en este trabajo ya que cuenta con factores a considerar para implementar la movilidad en las celdas de flotación, el funcionamiento general de este modelo se remonta a las primeras celdas de flotación con la capacidad de auto aireación, el modelo planteado en el año 1968 y propuesto por la empresa Denver Equipment Company sigue con el diseño propuesto original en la actualidad, este tipo de variante de celda de flotación mecánica es capaz de cumplir con los procesos de las etapas asignadas a las celdas, debido en gran parte a su diseño simple y versátil dado por el tamaño de la misma, el modelo consta los siguientes conjuntos de piezas a destacar.

Figura 6: Celda de Flotación 911MPESF-1.2

Fuente IV: Catálogo de Celdas de flotación mecánicas, 911MetallurgistCorp

1.6.1 Válvulas de aire

Al ser un modelo mecánico auto aireado, el aire necesario para generación de burbujas dentro de la celda de flotación es dispuesto por el vacío interno propuesto en las parte superior e inferior de la celda, ayudado de igual manera por una doble cuchilla rotativa que aumenta el ingreso de aire ambiente para la generación constante de vacío en el fondo de la celda, no obstante mediante las válvulas de aire se puede hacer ingreso de aire externo mediante un soplador o compresor fuera del circuito, esta opción es considerada ya que al ser una celda de flotación que cumple con varias etapas, la variante que podremos modificar será el ingreso de aire para diferenciar las distintas etapas.

1.6.2 Mecanismo accionador

Este mecanismo es un conjunto de piezas de la celda flotación que tienen como prioridad el funcionamiento estable de la celda, compuestos principalmente por un tubo mecanizado vertical que va propuesto sobre el impulsor y difusor de la celda, este tubo es el encargado de entregar la variante rotativa al proceso, es accionado por medio de un motor eléctrico y poleas, tanto como el impulsor como el difusor, generalmente reforzados con sellador de uretano, son los encargados de redistribuir la pulpa dentro de la celda, mediante el mecanismo de vacío esta puede salir a flote como un conjunto de burbujas.

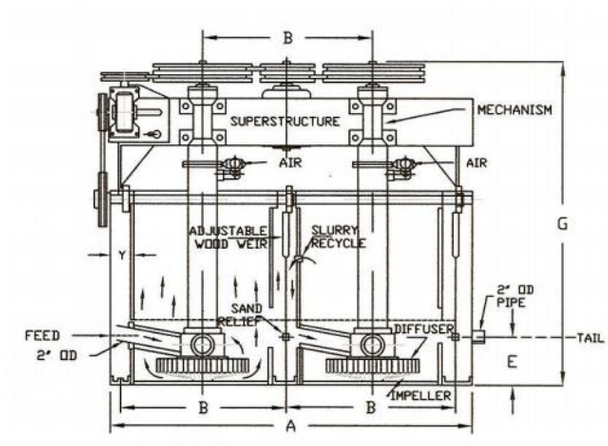

Figura 7: Esquema celda de flotación Sub-a, 911MPESF-1.2

Fuente 3: Catálogo de Celdas de flotación mecánicas, 911MetallurgistCorp

1.6.3 Mecanismo de alimentación y extracción

Como puede ser visto en la figura tres, la alimentación de este proceso es por el lado izquierdo inferior de la celda de flotación, esto debido a que al pertenecer al grupo de celdas mecánicas, estas pueden ser manipuladas de tal forma que se genere un circuito de flotación, al tener una infraestructura más cubica, es posible el apoyo entre estos equipos, la ubicación de la entrada de alimentación y de extracción en este modelo no es una casualidad, ya que al tratarse de una celda de flotación con un sistema de cuchillas abiertas al ambiente, se considera de mayor eficiencia hacer la instrucción del aire en la parte superior y no en la parte inferior o lateral siendo el caso de otras celdas de flotación, ya que este terminara bajando eventualmente por la válvula ajustable de aire propuesta en el tubo vertical.

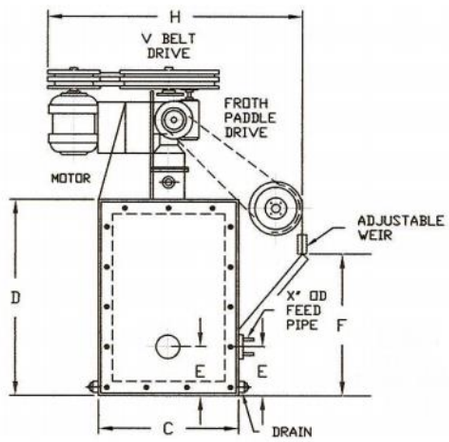

Figura 8: Esquema lateral de celda de flotación sub-a, 911MPESF-1.2

Fuente 4: Catálogo de Celdas de flotación mecánicas, 911MetallurgistCorp

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y CREACIÓN DE UN DISEÑO PARA UN SISTEMA DE FLOTACIÓN DE MINERALES MÓVIL.

2.1 RECOPILACIÓN DE DISEÑOS PROPUESTOS POR EL MERCADO

En este capítulo se verán recopilados por medio de un análisis comparativo las diferentes opciones en el mercado para postular una celda de flotación de minerales metálicos en un sistema de flotación móvil, considerando factores de funcionamiento de cada celda propuesta, el diseño propuesto a trabajar del sistema de flotación y la creación de la variable móvil dispuesta por el carro de arrastre, haciendo énfasis en la propuesta de un banco de trabajo de móvil capaz de ser transportado y operado en el carro de arrastre, además de las consideraciones que se verán implicadas en la creación del carro de arrastre para que se pueda considerar funcional.

Dentro de la minería Chilena se utilizan diversos diseños de celdas de flotación de minerales empleadas en el rubro, la principal cualidad de estas varía dependiendo el funcionamiento y el objetivo al que son dispuestas como fue mencionado anteriormente, no obstante debido a la demanda generada en mayor parte por la gran minería, mediana minería y plantas de flotación empleadas por el país, estas deben de cumplir con una serie de factores para ser consideradas parte del proceso productivo, entre los factores más importantes a destacar se encuentran contar con una excelente dispersión del aire para la producción de burbujas dentro del proceso, contar con una puesta en marcha eficiente para la optimización de tiempos de trabajo, de igual forma se requiere un sistema de retirada de espuma y desechos eficiente para lograr una producción con buenos resultados, además de contar con una fácil mantención. Entre las principales empresas y marcas asociadas utilizadas regularmente por la industria Chilena, se encuentra la empresa Metso, generalmente las celdas de flotación ligadas a la marca Metso utilizan un sistema patentado llamado RCS, este sistema utiliza un funcionamiento por aireación forzada en sus procesos productivos, el llamado que realiza la empresa es el de contar con un equipo que sea multipropósito en los procesos y distintas aplicaciones de la flotación, esto con el propósito de lograr una mayor eficiencia en el proceso industrializado. Otra empresa reconocida en el rubro industrializado del proceso de flotación es WEMCO, la empresa estadounidense es conocida por la utilización de equipos auto-aireados y aireación forzada, al igual que en la empresa mencionada anteriormente, WEMCO busca que sus equipos sean multipropósitos con el fin de abarcar cada aplicación del proceso de flotación, esta empresa en el proceso productivo Chileno es vista en mayor medida en plantas concentradoras, llegando hasta la ocupación del 70% dentro de este rubro (FLSmidth, 2021).

Una vez visto el sector industrializado del proceso productivo y la ocupación en cuanto a marcas y empresas se refiere, podemos hablar del punto de interés de este trabajo que es la pequeña minería, dentro de la pequeña minería generalmente no se ve la implementación de equipos de flotación, pero existen plantas de procesado dentro de esta gama que trabajan con sistemas de canaletas abiertas, sistemas Sub-a o sistemas auto-aireados por accionamiento mecánico, generalmente empleados por motores eléctricos, estos equipos al no ser considerados parte de un proceso más industrializados son considerados en la categoría de máquinas de flotación de uso particular, un ejemplo de uso de estos equipos en la pequeña minería puede ser visto en la Planta Minera Santa Camila, ubicada en Punitaqui, cuarta región, Chile, esta planta minera se encarga de la gran mayoría de procesos mineros y es empleada principalmente por pirquineros de la zona de Punitaqui, en ella se puede encontrar más allá del proceso de conminución, el de flotación con la utilización de celdas Sub-a, al tratarse de una rama de la minería no tan desarrollada en cuanto a procesos de flotación de minerales, la proveniencia de estos equipos es ligada en mayor parte a la creación de estos equipos por parte de los mismos dueños de la planta, este último testimonio fue otorgado por Óscar Manuel Segovia Ortiz, dueño y representante legal de la planta minera Santa Camila (Ortiz, Mejoras a implementar en la Pequeña Mineria, Practica Profesional, 2021).

2.1.1 Presentación general de los modelos

En el presente punto se expondrán los modelos propuestos para determinar cuál de estos cumple con las capacidades de adaptabilidad al transporte. Se considerarán modelos propuestos por distintos fabricantes teniendo como cualidad general su funcionamiento en Sub-A, la elección de que su requerimiento sea de tipo Sub-A será gracias a que este modelo de celdas cumple con una fácil mantención y sin la dependencia de factores externos en su funcionamiento, como puede ser el caso de la aireación externa o de su funcionamiento en series de gran cantidad.

Una de las celdas propuestas en cuanto a precio-calidad escogida en mayor medida en la mediana minería a nivel nacional es la GF-1.1, esta celda de flotación auto aireada del tipo mecánica es proveniente de la empresa Jinpeng Mining Machinery, esta empresa es escogida en mayor parte en la industria chilena por la calidad-precio de sus equipos y la fabricación personalizada dependiendo de la cantidad de celdas de flotación requeridas y el espacio en donde se almacenarán. Es utilizada en mayor parte en plantas de flotación, en donde generalmente se utilizan en serie ubicadas de tal manera en que se pueda realizar

el proceso de flotación en cada una de sus etapas de manera expedita. El volumen de trabajo y las dimensiones del equipo pueden ser ajustadas dependiendo del tipo de trabajo en el que se quiera aplicar, siendo así la serie GF una de las más adaptables en cuanto a su tamaño. Consta de un tanque de trabajo delantero de doble lamina, cuenta con un sistema de auto aireación con una guía de tubo, ayudado por una doble aspa mecánica accionada por un motor eléctrico, generando así un efecto vacío dentro de la celda de flotación, además cuenta con la capacidad de abarcar la etapa Rougher y Cleaner, proponiendo así un sistema en serie que pueda cumplir con el proceso de flotación casi completo.

Otra celda de flotación a mencionar viene de la mano de la empresa Metso. Esta empresa es conocida dentro de la industria por su gran eficacia y su sistema patentando por celdas de flotación RCS, este sistema con base en la auto aireación Denver y mejorado en cuanto a rendimiento de la mano de Metso, permiten una recuperación más eficaz con un poderoso bombeo en forma radial, junto con la capacidad de recirculación del concentrado, aumentando así las capacidades recuperativas de la celda.

Entre los modelos más comunes dentro de la industria podemos encontrar el modelo RCS-30 y RCS-50, estos diferenciados entre si principalmente por la capacidad volumétrica de funcionamiento y el dimensionamiento como tal de la celda de flotación. Comúnmente utilizada en la gran y mediana minería destacando su poca adaptabilidad a pequeños espacios, ya que al tener la capacidad de realizar todas las etapas en el proceso de flotación esto no quiere decir que no sean utilizadas en grandes cantidades, por lo general, las dimensiones de estos equipos rondan entre 3 a 4 metros de altura, 3,5 metros de ancho y entre 3 a 3,5 metros de largo. Esto limita bastante el objetivo de transporte que se le quiere atribuir, de igual manera es incluida ya que aportan un sistema completo de etapas del proceso.

Como ultima selección es propuesta la celda de flotación 911MPESF-1.2, de la empresa 911Metallurgist, este equipo se escogió por la principal razón de su uso en pequeñas operaciones mineras. Esta celda de flotación con mecanismo Sub-A cumple con etapas del proceso como Rougher, Scavenger y Cleaner, cuenta con una estructura de doble tanque con un sistema de auto aireación con dos aspas de acero situadas en la entrada de cada tanque, que están accionadas por un motor eléctrico. Además, cuenta con un sistema de tubería de admisión de aire en vertical creando un vacío interno para aumentar la recuperación, el sistema practico de recuperación y descarga está situado de tal manera de

que se puedan acoplar una cierta cantidad de celdas para generar el proceso completo de flotación.

La serie SF de estos equipos de flotación se pueden encontrar en distintas variables con volúmenes operacionales y dimensiones diversas, como fue mencionado anteriormente esta serie de estos equipos de flotación es comúnmente utilizada en pequeña escala para la pequeña minería contando con una flotación hacia minerales sulfurados principalmente concentraciones de cobre-zinc, entre otros.

2.2 EQUIPOS ADAPTABLES CONSIDERADOS

Entre los tres modelos propuestos anteriormente, se evaluará considerando distintos factores operativos considerados para la pequeña minería, tales como dimensionamiento, simplicidad del funcionamiento del equipo y del mecanismo por el cual trabaja, transportabilidad, entre otros.

- GF-1.1: esta celda de flotación de la serie GF de Jinpeng Mining Machinery, consta con un dimensionamiento de 1,1 [m] de longitud, 1,1 [m] de ancho y 1,0 [m] de altura, cuenta con un mecanismo Sub-A del tipo abierto, además cuenta con un motor eléctrico impulsor rotativo que es el encargado de crear el efecto centrifugo y de vacío dentro de la celda para su aireación, la regulación de la misma dependerá del ajuste del motor que se quiera emplear, otro punto a destacar es su sistema de doble aspa mecánica para la agitación de la pulpa y recolección de espuma mineralizada. Si bien este equipo consta con los factores requeridos para la transportabilidad que se está buscando, esta no cuenta con la autosuficiencia en las etapas de la flotación, ya que esta celda de flotación a pesar de poder ser incluida en la etapa Cleaner, es mayormente utilizada solo en la etapa Rougher, su modelo ergonómico de fácil adaptabilidad es ideal pero al no ser autosuficiente en la consideración de más etapas de la flotación de minerales no puede ser considerado para el propósito de este proyecto, ya que se busca un equipo simple que pueda abarcar con varias etapas de flotación para su implementación en una pequeña serie. Desde el punto del mantenimiento que este equipo requiere, no es algo muy

complejo de describir, ya que se busca una vida útil duradera por parte del equipo, esto por medio de limpieza de las aspas, lubricación del mecanismo de agitación, mantenimiento rutinario al motor eléctrico, correcta limpieza del cuerpo de la celda, entre otros.

- Metso RCS-30: la celda de flotación RCS-30 de la mano de Metso, es una celda de flotación cilíndrica, el mecanismo accionador que esta presenta es el DV, este mecanismo es el encargado de dar movimiento por medio de poleas y fajas en forma de V al sistema rotativo del equipo, ya sea el difusor o el impulsor, este último se encarga del movimiento de rotación del eje que provoca la agitación dentro de la celda, este también es ayudado por medio de un motor eléctrico trifásico, generando un movimiento controlado en la polea. En cuanto a autosuficiencia en las etapas de la flotación, podemos decir que la celda de flotación RCS-30 es capaz de trabajar en cualquier etapa del proceso, ya sea desde Rougher, Scavenger o Cleaner, su eficiente sistema es gracias a la tecnología RCS de Metso que viene evolucionando a partir de las celdas de flotación del tipo Denver. Hablando más en detalle sobre los requerimientos necesarios para este proyecto, es importante recalcar que a pesar de que la celda de flotación RCS-30 cuenta con una excelente autosuficiencia y un mecanismo accionador de fácil entendimiento y mantención, esta no cumple con el dimensionamiento propuesto para ser denominado transportable, esto debido a que con su ancho de 3,7 [m] y su altura de 3,4 [m] no podría ser transportada por un carro de arrastre, esto principalmente es debido a que según la resolución de transportes y normativas de transito Chilenas, el ancho máximo permitido en carretera para un carro de arrastre de un vehículo con o sin carga es de 2,6 [m] como máximo (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaria de Transportes, 2020), ya que se busca la autonomía del proyecto y no la dependencia de una licitación por vehículo especial, esta sería un problema a la hora de la libertad de movilidad con la que contaría el carro de arrastre y el proyecto en general.

- 911MPESF-1.2: La celda de Flotación 911MPESF-1.2 viene de la serie SF de la empresa 911MetallurgistCorp, esta empresa de origen canadiense se especializa en equipos de flotación para pequeñas

operaciones mineras y laboratorios, siendo así la serie SF una de las utilizadas en procesos con relación a sulfuros de cobre, tratamiento del oro, entre otros. Su compacto sistema es gracias a la utilización de tecnología Denver Sub-A, equipada con un doble tambor, una doble aspa de acero encargada de la agitación, accionada por un motor eléctrico trifásico por medio de poleas, además de su efecto vacío dentro de la celda para proporcionar una agitación y aireación constante, en cuanto a su autosuficiencia en el proceso de flotación, podemos destacar que es apta para etapas tanto como Rougher, Scavenger y Cleaner, puede ser utilizada en pequeñas series, esto gracias a su sistema de ensamble lateral para la extracción tanto como de concentrado como de relave por distintos costados del equipo, el modelo 1.2 de esta serie, cuenta con un dimensionamiento de 1,1 [m] de largo, 1,1 [m] de ancho y 1,1 [m] de alto, estas dimensiones lo hacen ideal para aplicarlo al proyecto, visto desde el punto de la transportabilidad, este cumple con la normativa de tráfico, ya que sería dispuesto en conjunto por un carro de arrastre.

2.3 SELECCIÓN DEL EQUIPO ADAPTABLE

Como se dejó expresado en el punto anterior, se tomó la consideración de tres modelos de equipos de flotación de diferentes marcas, se hizo un breve análisis sobre los factores que se deben considerar para su elección, tales como su tipo de funcionamiento, dimensionamiento y transportabilidad, este último siendo el requisito fundamental en esta propuesta de diseño. El modelo escogido para el diseño es el 911MPESF-1.2, este modelo cumple con todos los factores requeridos, se pueden ver notorias comparativas entre los demás posibles modelos expuestos anteriormente, esta comparativa será desarrollada más en detalle a continuación.

2.3.1 Comparativa

El equipo 911MPESF-1.2 en comparativa desde el punto de ventajas sobre los demás modelos, se puede decir que este modelo a criterio es mucho más autosuficiente con respecto a los demás, si bien en cierto que el equipo RCS-30 de Metso cumple con los mismos requerimientos en este punto, el dimensionamiento de los componentes de este no hace que pueda ser escogido como modelo propuesto, en cuanto a ventajas supone, el

modelo 911MPESF-1.2 será mucho más fácil de mantener y hacer una correcta mantención por parte del equipo de trabajo de la pequeña minería, no olvidar que a pesar de pertenecer a una rama no tan industrializada del rubro minero esta debe de contar un conocimiento generalizado sobre mantención a equipos de accionamiento mecánico o más concretamente a el sistema accionador de este, en este caso supone un motor trifásico de 5,5 [Kw] de potencia.

En comparativa con el modelo GF-1.1 de la empresa Jinpeng Mining Machinery, este a pesar de contar con las etapas Rougher y Cleaner entre sus aptitudes, es mayormente utilizado en la etapa Rougher solamente, esto debido a su poca eficiencia en demás procesos y por las mismas capacidades que el equipo propone, en comparación con el equipo 911MPESF-1.2 este último puede ser más autosuficiente y versátil en más etapas de la flotación, abarcando hasta la etapa depuradora Scavenger y con un buen testimonio por parte de eficacia en cuanto a funcionamiento en demás etapas, entregando buenos resultados en cada uno de sus dependencias a trabajar (Ortiz, Mejoras a implementar en la Pequeña Mineria, Practica Profesional, 2021).

Ya visto el equipo con el cual se trabajará y dejando en claro las ventajas sobre las demás elecciones, se pasará a sus aptitudes en un rango operativo y que parámetros que son considerados tanto como en su funcionamiento general como en su proceso móvil estimado.

2.4 VARIABLES DE RANGO OPERATIVO

La celda de flotación 911MPESF-1.2 para que entregue una excelente eficiencia a la hora del trabajo en las etapas designadas, es necesario que cumplir con algunas variables para su optima puesta en marcha, mayormente relacionadas a los parámetros necesarios en toda celda de flotación de minerales, este visto de forma no tan especifica si no más generalizada pueden ser:

- Tiempo de residencia: el tiempo de residencia influye directamente en el resultado de la ley de concentrado, visto desde el punto de vista de la pequeña minería, esto significaría un mayor valor agregado al tratamiento si su ley fuera acorde a la esperada, lo estimado es que sea

una ley del 31%, el tiempo en que la pulpa permanezca dentro de la celda dependerá de factores como el volumen efectivo con el que se maneje en la celda, el flujo de alimentación y la cantidad de sólidos en él también es un factor a considerar en el tiempo de residencia. Un punto a destacar de esta variable es que dependiendo de la etapa en la que se encuentre la celda, los tiempos varían, un ejemplo de esto puede ser cuando se está en la etapa Cleaner, al ser una pulpa ya más procesada podría comportarse de forma sensible a cambios bruscos como en la aireación o en la circulación de volumen dentro de la celda, por lo mismo se esperan tiempos acotados.

- Flujo de alimentación y porcentaje de solidos: En cuanto al flujo de alimentación de este equipo, se estiman entre 0,6 a 1,2 [m3/min] con un volumen máximo de 1,2 [m3/min], el porcentaje de solidos variara dependiendo del grado de la partícula que se necesite para su liberación, hay que tener en cuenta que este debe ser capaz de lograr una correcta flotabilidad, ya sea por la propiedades físico químicas con las que cuenta el mineral por naturaleza como las que se le atribuyen por medio de reactivos.

- Velocidad de vacío o dispersión del aire: Entre las variables consideradas para el correcto funcionamiento de esta celda de flotación, esta puede ser una de las más importante, ya que controlar la velocidad del aire dentro de la celda es fundamental para aumentar la recuperación y su regulación va directamente relacionada por la diferencias de flujos en las etapas de la flotación, una no correcta verificación de esta variable puede repercutir negativamente en cualquier proceso, ya sea del rubro de la gran minería como en la pequeña minería, un ejemplo de esta puede ser la variación de la calidad de las burbujas, un aumento del aire empleado puede ser negativo en la etapa Cleaner ya que se generarían turbulencias y la estabilidad se vería afectada, a grandes rasgos este descuido puede hacer variar hasta una perdida en la pulpa del concentrado. Desde el punto de vista del funcionamiento de nuestra celda propuesta, al ser de accionamiento Sub-A, la tarea de la regulación de la velocidad de la aireación se ve

reflejada en el impulsor del equipo, en el caso de la celda de flotación 911MPESF-1.2, la velocidad de vacío propuesta por este modelo es de 312 [RPM] como máximo, el impulsor al ser un tubo en vertical con una base en forma disco, mediante el accionamiento de un motor eléctrico trifásico, este puede girar generando no sola la agitación del material grupo que se sitúa dentro de la celda, sino también la generación de un efecto de vacío que termina por auto airearse por sí mismo, el diámetro del impulsor en este modelo es de 450 [mm].

Si bien es necesario conocer las distintas variables de rango operativo con las que debería de trabajar una celda de flotación, independiente si es del tipo Sub-A como es el caso ahora, también es necesario conocer más en detalle el funcionamiento de sus componentes, más específicamente la potencia a considerar en el motor que le dará movimiento al impulsor. El motor con el que trabaja la celda de flotación 911MPESF-1.2 es un motor eléctrico trifásico, su potencia es de 5,5 [Kw] y es el encargado de entregar las revoluciones por minuto con las que trabaja el impulsor, como fue mencionado anteriormente, un punto a destacar de este motor y del funcionamiento que requiere es la capacidad de ser integrado a un sistema regulador de voltaje, esto principalmente para no tener inconvenientes con los voltajes de trabajo ni con los amperios máximo que requiera, este punto será desarrollado más en detalle en próximos punteos.

2.4.1 Variables a considerar en el proceso móvil

El propósito de esta propuesta de diseño es poder entregar un diseño adaptable a condiciones de trabajo de la pequeña minería más concretamente, esto con el fin de poder entregar oportunidades de desarrollarse a esta rama de la misma, una vez con el objetivo claro y la elección del equipo de flotación a adaptar para su transportabilidad se deben de considerar ciertas variables para que el equipo o el conjunto de equipos se pueda llamar transportable, más allá de su funcionalidad, existe normas a considerar para que algo se considere en condición de arrastre, tales como:

- Ancho máximo: El ancho en cuanto a dimensionamiento de nuestro carro de arrastre es uno de los factores más importantes a considerar, puesto que según la normativa Chilena los carros de arrastre o remolques o cualquier otro vehículo que circule por las calles y/o

carreteras Chilenas deben de contar con un ancho máximo de 2,6 [m], exceptuando vehículos de dos ruedas, la resoluciones de esta limitante es debido principalmente al ancho estandarizado de las calles, carreteras y vías de circulación que existen en el país (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaria de Transportes, 2020).

- Largo máximo: El largo máximo considerando entre los extremos interiores y posteriores del vehículo de arrastre, existen una gran variedad de rangos sobre largo máximo dentro de las consideraciones de un remolque o carro de arrastre, la diferencia entre estas medidas varia por el vehículo que se le asigne, en este caso a pesar de existir una variedad respecto a medidas, si nos referimos a un camión o cualquier otro vehículo pesado con cualquier combinación de arrastre será de 20,50 [m] como máximo (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaria de Transportes, 2020).

- Alto máximo: Con respecto al alto máximo permitido del remolque, existen solamente dos variantes, estas son un alto máximo de 4,20 [m] para vehículos con o sin carga en el carro, el otro límite máximo corresponde a 4,30 [m], esta altura tiene asignado el transporte por medio de un camión a cualquier remolque, carro de arrastre o semirremolque especial, dígase los usados para transporte de otros vehículos o de maquinaria pesada (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaria de Transportes, 2020).

Entre las normativas sobre dimensionamiento esas serían las más importantes a considerar, no obstante, existen otras consideraciones en caso de la creación de un carro de arrastre personalizado, dígase un número específico de ruedas o un aguante de tonelaje específico para una tarea y que el mercado no pueda entregar en un producto ya construido, como podría ser el caso de este proyecto, entre las más importantes a destacar se pueden encontrar:

- Inscripción de un carro de arrastre: Respetando la normativa anteriormente señala, es necesario atribuir la inscripción del carro para

que su circulación sea legal, antes de su inscripción son denominados carros de arrastre hechizos, dependiendo de su capacidad de transportabilidad en tonelaje y el mismo peso del remolque, se le atribuirán categorías, siendo dos las más importantes. En caso de que el carro tenga una capacidad de carga inferior a 3860 [kg] deberá ser inscrito en la municipalidad de la dependencia correspondiente bajo el decreto N° 83 del reglamento de registro municipal de carros y remolques, para esto es necesario indicar quien apadrinará el carro y el domicilio de almacenaje, acto siguiente se le hará entrega de la placa para su identificación. En el caso de que el carro de arrastre tenga una capacidad de carga superior a 3860 [kg], este deberá ser inscrito en el registro civil, esta inscripción quedará registrada en el registro especial de remolques y semirremolques, de igual manera se necesitara un padrón vehicular y dirección de almacenaje para la entrega de la placa de identificación del carro de arrastre (autofact, 2020).

- Antecedentes del carro: Mediante una declaración jurada notarial por el padrón del carro de arrastre se deben de dejar registradas ciertas características necesarias para la identificación del carro, estas son las siguiente; marca del remolque o declarar si de construcción propia o también denominados hechizos, declarar el modelo o en caso de no poseer declarar que corresponde a la categoría hechizo, color, indicar la capacidad de carga del equipo obtenida mediante el aguante en Psi de las ruedas, número de ejes y ruedas, año de fabricación (autofact, 2020).

- Permiso de circulación: posterior a la declaración e inscripción, si el carro de arrastre o remolque tiene una capacidad de carga mayor a 3860 [kg], se debe de contratar un permiso de circulación bajo la normativa vigente, otro punto a recalcar es la contratación de un seguro obligatorio contra accidentes personales impuesto por el SOAP, esto con el fin de resguardar la integridad tanto como del personal encargado de su uso como de la infraestructura del mismo carro de arrastre (autofact, 2020).

Si bien dentro de la industria minera existen distintos rangos, no hay que desconsiderar las normativa de seguridad mineras impuestas, de este modo, dentro de la pequeña minería a pesar de generalmente trabajar con pequeñas operaciones mineras, ya sean desde el ámbito de la conminución como de la flotación que es en este caso, de este modo se dejaran en claro algunas de las más importantes normas y artículos sujetos al tema, estas son las consideraciones que debe de tener el carro de arrastre para transportar el proceso de flotación móvil.

- Señalética: En cualquier tipo de faena minera se deberán de emplear en sus equipos automotrices o arrastre de cualquier naturaleza, señalizaciones e iluminaciones reflectantes propias para el funcionamiento correcto del equipo (Reglamento de Seguridad minera, Ministro de Minería, 2013).

- Capacidad de carga: Los carros de arrastre cuya capacidad de carga exceda 5 [ton] o más, deberán contar con manillas de extensión lateral para un aumento de seguridad en la carga transportada (Reglamento de Seguridad minera, Ministro de Minería, 2013).

2.5 DISEÑO A PROPONER

El diseño a proponer si bien anteriormente se estimaba tratar de reducir al máximo el proceso de flotación, ahora una vez obtenido un equipo adaptable se sugiere la creación de una pequeña serie, estos equipos de flotación al tratarse de celdas de flotación Sub-A ya poseen una autonomía propia por la autosuficiencia en etapas de la flotación pero su eficacia aumentaría considerablemente usando un sistema de pequeña serie de flotación, abarcando desde la etapa Rougher hasta la etapa Cleaner, proponiendo así un modelo mucho más eficiente que la utilización por separado de la celda, no olvidando el factor de la transportabilidad y enfocada a la pequeña minería, de este modo en primera instancia partiremos por base del proyecto, el método de transporte propuesto.

2.5.1 Método de transporte propuesto

El método empleado en este proyecto será un carro de arrastre, los requerimientos para que este sea viable están descritos en puntos anteriores, pero dando un breve resumen, este

constara con una capacidad de carga superior a 3860 [kg], de esta manera es necesario realizar el trámite correspondiente para su inscripción en el registro civil.

La estructura de este será de construcción hechiza, es decir, al ser de construcción hechiza este seguirá el criterio de construcción propia, considerando los materiales necesarios para su creación, los elementos consumibles requeridos para la unificación del medio transporte como también considerando la mano de obra, esto con el fin de contar con una mayor personalización de los requerimientos en cuanto a características sobre su construcción, se propondrá una estructura principal en base a vigas paralelas con vigas trasversales a modo de refuerzos, de igual manera se propondrá el refuerzo de estas mediante una superficie de planchas de acero A36 con textura diamantada para una mayor adhesión, las dimensiones propuestas para la construcción del carro serán, 12 [m] de largo total, 2,6 [m] de ancho máximo y 2,4 [m] de ancho útil, además constara con una altura de 1,2 [m] de alto del equipo y con una altura máxima operativa de 4,2 [m] si se desea.

La plataforma del carro de arrastre o área de carga constara de una placa de acero inoxidable de 10 [m] de largo y 2,6 [m] de ancho, a esta se le asignara una placa de las misma dimensiones de metal, preferentemente acero resistente al impacto y con textura adiamantada para un mejor agarre, en los puntos del extremo del carro, ya sea el punto extremo de la parte de atrás como el de la parte de adelante y costados, se implementara barandas de 40 [cm] de alto para reforzar la seguridad del carro y de su carga como tal, además contara con un parachoques trasero donde se añadirán la patente identificadora del carro y luces reflectantes señaléticas, en la parte frontal se implementara un agarre tipo cuello de ganso o tipo ojo, ya que se transportaran más de 5 [ton] y esta es la recomendación para esa capacidad (Carga Fácil, 2011).

En cuanto al apartado de las ruedas y ejes a proponer para su construcción, se implementarán un total de dieciséis ruedas y cuatro ejes, considerando dos ruedas por extremo de eje, se situaran de tal manera que los ejes traseros serán del tipo ballesta obteniendo una suspensión en estos si es requerida, por otro lado la parte delantera del carro se implementaran dos ejes de torsión que le otorgaran movilidad a las ruedas delanteras, esto en función de un tornamesa posicionado en la parte inferior de la estructura en conexión con los ejes de torsión, de esta manera el peso propuesto se posicionara en forma de balancín, ajustando el centro de gravedad para que de esta manera se proporciones el peso entre el carro de arrastre y el vehículo, una recomendación para

este último posicionar los ejes entre el 60% de la longitud total de la plataforma y el 20% refiriéndose en la parte delantera, así la proposición quedaría en un 80% para la disposición del peso en el carro de arrastre y solo un 20% en el esfuerzo aplicado por el vehículo. Un punto importante a destacar es el modelo y características de las ruedas a utilizar, ya que el eje se puede tomar sugerencias de carros de arrastre o remolques ya conocidos, como puede ser el caso de un eje para coloso, en cuanto al conjunto total de la rueda se propondrá el neumático 7.50-16 Roadguider QH504, este neumático nos proporcionara facilidades a la hora de su mantención debido a su funcionamiento tubular sin cámara, cuenta con un refuerzo en todo el área de desgaste de 16 telas con un aguante promedio en presión de 75 [psi], este tipo de neumático es normalmente utilizado en carros de arrastre del tipo remolques, agrícolas e industriales, el aguante de capacidad de carga con el que cuenta es de 1250 [kg] por neumático, en cuanto al aro propuesto se trabajara con un aro desplazado de 16 [mm] de la empresa Combahl, el modelo como tal del aro es el BAJT-S-1 reforzado, cuenta con una separación de 7 [in] entre cada neumático, este aro es principalmente usado en colosos o carros de arrastre con una capacidad de carga superior a 5 [ton]. A continuación, se propondrá un esquema básico de lo esperado del carro de arrastre, destacando número de ruedas visibles por el lateral, cantidad de ejes a proponer y posicionamiento de cada uno de ellos, además de la estructura que dispondría la carrocería.

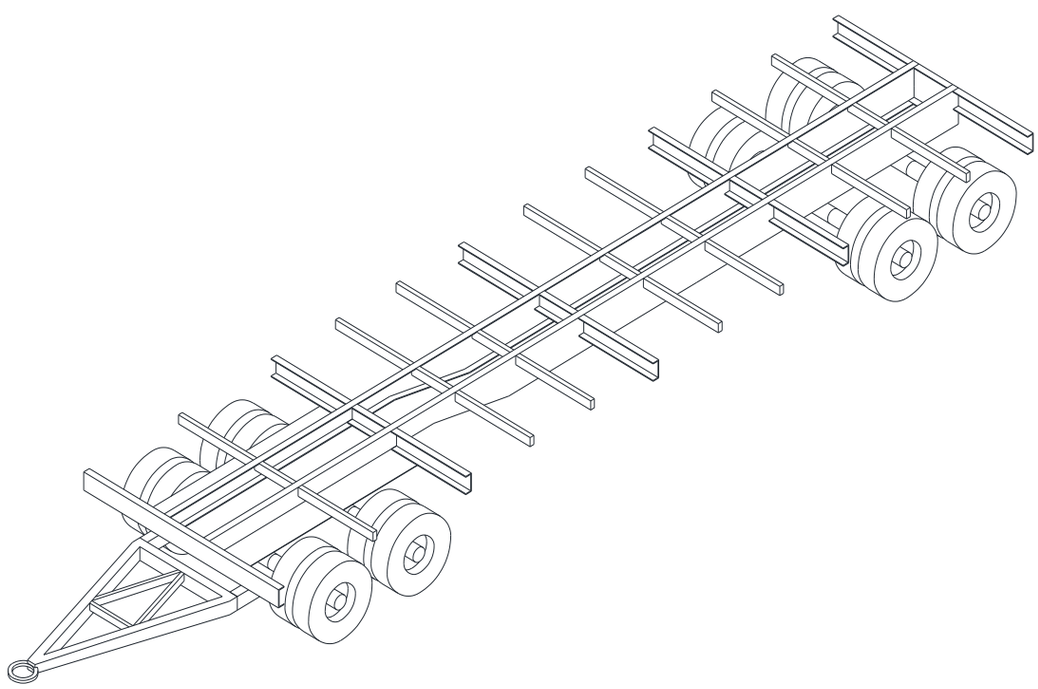

Figura 9: Esquema simple Carro de Arrastre

Fuente V: Esbozo desarrollado en AutoCad sobre Estructura base del carro de arrastre, Elaboración Propia.

Según el dimensionamiento de los equipos dispuestos en el carro de arrastre el posicionamiento de estos se da en base a el aprovechamiento de la superficie del carro de arrastre, es decir, al contar con una única celda de flotación las dimensiones de 1100 [mm] X 1100 [mm] X 1100 [mm] se generar un dimensionamiento estándar que ayudara al posicionamiento , en un principio al contar con 10 [m] de superficie de largo en el carro de arrastre, se dispondrán en los cuatro primero metros de largo de la superficie desde el extremo delantero de esta para el posicionamiento de las celdas de flotación, en un principio se dispondrán tres a lo largo y la cuarta nuevamente en el extremo delantero, generando así un espacio operativo para la observación y futuro mantenimiento que requieran las celdas de flotación.

Recordando que el largo total del carro de arrastre es de 12 [m] con 10 [m] operativos, se propondrá el posicionamiento del generador encargado de la alimentación de los motores próximos a las celdas de flotación, el generador con un dimensionamiento de 2200 [mm] X 940 [mm] X 1660 [mm], de esta forma se dispondrán 2 [m] de largo en la superficie para el posicionamiento horizontal del generador, recordando de igual manera que se cuenta con un ancho máximo de 2,6 [m] en la superficie del carro de arrastre.

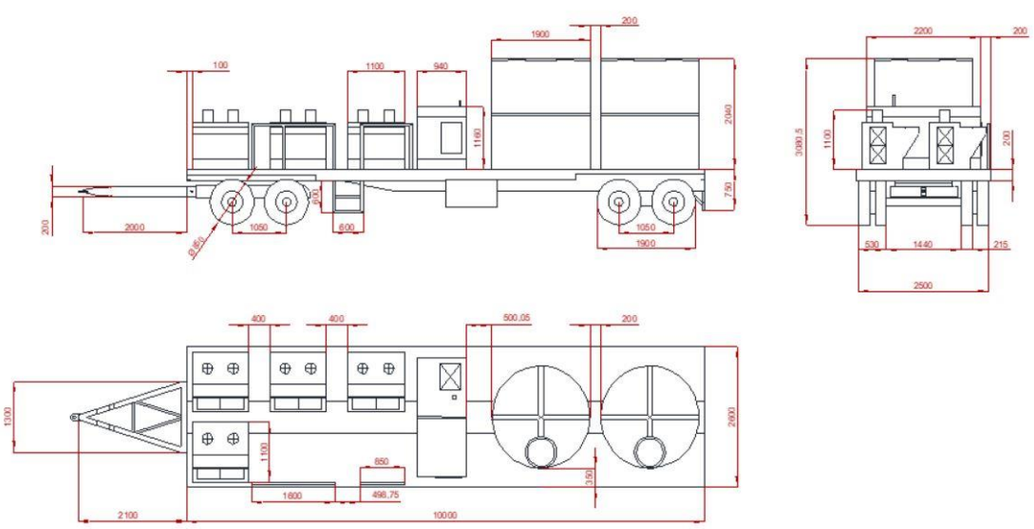

Figura 10: Esquema de Posicionamiento sobre el carro de arrastre

Fuente VI: Esbozo desarrollado en AutoCad sobre posicionamiento sobre el carro de arrastre, Elaboración Propia.

Finalizando con el posicionamiento de los equipos debemos considerar los almacenajes del sistema de frotación, estos estanques ya mencionados con un dimensionamiento de 530 [ml] del diámetro superior de la abertura, 1900 [mm] superior en referencia al tamaño total del almacenaje y 2040 [mm] de altura considerando la tapa de la abertura, la disposición de este almacenaje doble en el carro de arrastre será de 2 [m] de largo por estanque situado en la superficie del carro de arrastre.

2.5.2 Consumo celdas

Como primer dato a considerar se debe de tener en cuenta que cada de celda de flotación 911MPESF-1.2 se alimenta energéticamente por medio de un motor eléctrico trifásico con una potencia de 5,5 [kw], considerando el dato anterior y un numero de estimado de 4 celdas de flotación a proponer en el circuito, se estima que la potencia utilizada sea de 22 [kw] en total, la alimentación de estos motores eléctricos se obtendrá gracias a un generador eléctrico trifásico diésel, más concretamente el generador GSS30D3 de la empresa KOLVOK POWER PRO, la elección de este generador fue gracias a sus características de partida de 12 [v], su funcionamiento trifásico de arranque directo y más concretamente por el cálculo de potencia nominal requerida, para saber nuestra potencia nominal se debe de desarrollar una fórmula para obtener KVA, que se desarrollara a continuación.

$$KVA = \frac{KW}{PF}$$

$$KVA = \frac{22}{0{,}8}$$

$$KVA = 27{,}5$$

El desarrollo de esta se basa en la referencia de los KW requeridos por los equipos, en este caso los motores de las celdas de flotación y divididos por el factor de potencia del generador eléctrico PF, como resultado nos daría que el KVA requerido seria de 27,5, el generador GSS30D3 cuenta con un funcionamiento nominal de 30 [KVA] y con un máximo de 33 [KVA], de esta forma aseguraríamos un funcionamiento óptimo con un margen de error en potencia nominal de 5,5 [KVA].

2.5.3 Flowsheet a proponer sobre el carro de arrastre

Ya conociendo un poco más el transporte que llevara el proyecto y su fuente de alimentación eléctrica, es necesario saber el posicionamiento que las celdas de flotación sobre la plataforma móvil, para comprender de mejor manera el Flowsheet con el que operara a grandes rasgos, su sistema de almacenaje de concentrados y su sistema de recirculación de relaves para un proceso más óptimo, todo esto de la mano de la celda de flotación 911MPESF-1.2.

En primera instancia la celda de flotación 911MPESF-1.2 cuenta con una auto valencia en las etapas Rougher, Scavenger y Cleaner, al no contar con la etapa Re-Cleaner, se propuso trabajar con estanques de almacenaje y recirculación para lograr una eficacia igual o mayor a la que se dispondría con la etapa Re-Cleaner, este modelo de Flowsheet es de creación y elaboración propia tomando en consideración la ubicación de los equipos sobre el carro de arrastre, el modelo se expondrá a continuación y se explicara de manera siguiente.

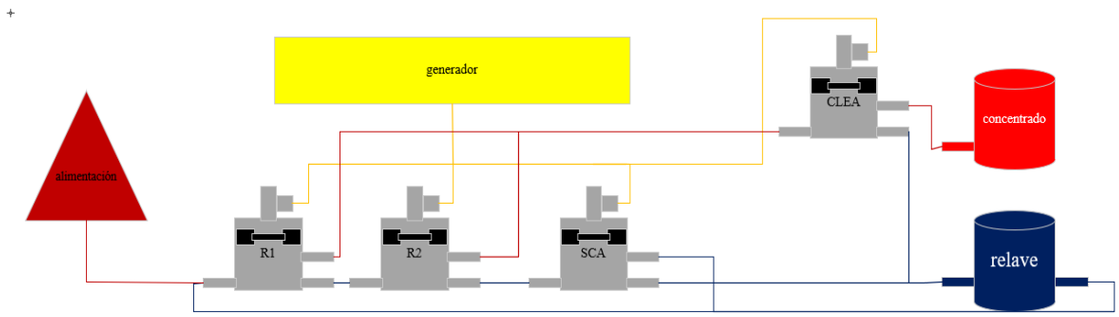

Figura 11: Esquema simple de trabajo para flotación de minerales

Fuente 6: Bosquejo simple operacional de funcionamiento del sistema de flotación, Elaboración Propia.

El Flowsheet propuesto se basa en la alimentación desde el lado izquierdo del esquema a una celda de flotación primaria Rougher, el concentrado de esta celda, identificado con una línea roja, pasa a la alimentación de la celda Cleaner, el relave de la celda Rougher primaria pasara a la alimentación de una celda Rougher secundaria, de este modo la celda de flotación Rougher secundaria su concentrado se dirigirá a la alimentación de la celda Cleaner y su relave pasara a la alimentación de la celda Scavenger, este último y todos los relaves serán identificados con una línea azul oscura, al no contar con una celda Re-

Cleaner se propone la utilización de estanques de almacenaje y recirculación para la integración al comienzo del proceso, ya explicado este punto nos referiremos a la celda Cleaner con concentrado identificado con una línea roja, pasara a un estanque de almacenaje donde quedara a la espera de ser transportado al próximo proceso, por otro lado, el relave de la celda Cleaner pasara al estanque de recirculación de relaves, al que dé mismo modo va dirigido el concentrado y relave de la celda Scavenger, esta recirculación partirá desde la alimentación de la celda Rougher primaria, de este modo se generara un sistema expedito, funcional y transportable.

Si hablamos más en detalle sobre los estanques de almacenaje y recirculación, diremos que en primera instancia es un estanque de 5000 [L] vertical extra reforzado de la marca SUPERBIDON envases industriales, este estanque vertical se escogió debido a sus cualidades de extra refuerzo que se pueden ver necesitadas a la hora de almacenar una pulpa de mineral con distintos agentes abrasivos que otro almacenaje no podría soportar, es de material Polietileno LLDPE reforzado, cuenta con temperaturas de trabajo de hasta 50°C, su apertura de descarga consta de una rosca de acero hilo fino de 1 ½ [in], las dimensiones de este serán de un diámetro de 190 [cm] y una altura total de 204 [cm], su peso constara de 118 [kg], la elección de este estanque fue principalmente a sus capacidades reforzadas de trabajo y a las dimensiones con las que cuenta, que calzan con las dimensiones que se disponen en el carro de arrastre, además de su fácil re ubicación dentro del carro de arrastre.

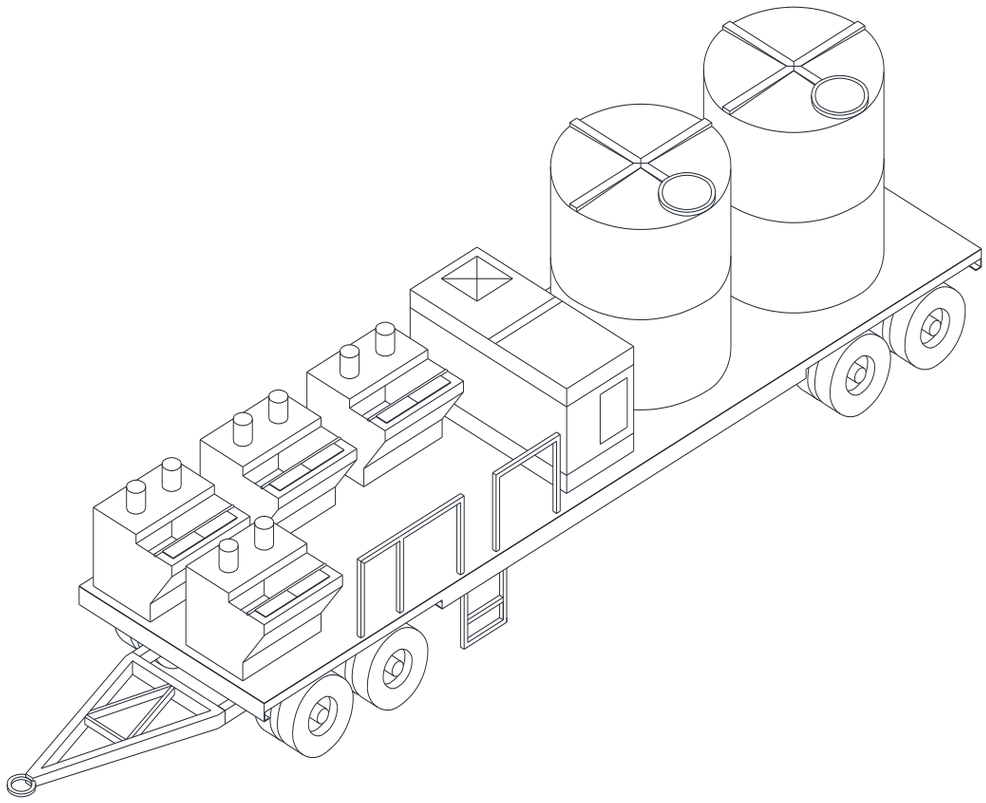

Figura 12: Esquema de trabajo móvil

Fuente VII: Esbozo desarrollado en AutoCad sobre Estructura de trabajo móvil del carro de arrastre, Elaboración Propia.

CAPÍTULO 3: COSTOS ASOCIADOS A LA CREACIÓN DE LA PROPUESTA Y VIABILIDAD.

3.1 DEFINIR MATERIALES NECESARIOS PARA LA FABRICACIÓN

Este capítulo tendrá la finalidad de ver por medio de los materiales seleccionados y la viabilidad que representa, proponer el sistema de flotación por medio de la consideración de los equipos necesarios para cumplir con la labor de flotar el mineral tanto como las consideraciones necesarias para la construcción del carro de arrastre, el impacto generado en este capítulo en función del objetivo general de la propuesta será la de proponer el sistema de flotación como tal y lograr diferenciar la viabilidad del proyecto a proponer por medio de testimonios, como también una posible recuperación si se llegara a efectuar la propuesta. Si bien la propuesta trabajada podría a llegar ser no factible debido a los bajos ingresos por parte del enfoque al que está dirigido como también al método empleado para su funcionamiento, en este capítulo de igual manera se plantearan las consideraciones que van por parte de la posible creación de la propuesta, como también su factibilidad.

Como fue señalado anteriormente y descrito de breve manera ahora, este proyecto constará de dos partes a considerar, el método de transporte y los equipos para el proceso de flotación, ya señalados los parámetros considerados para la creación, posicionamiento de los equipos y distribución del peso según el dimensionamiento del método de transporte podemos comenzar con algunos valores de referencia a considerar en la creación, algunas partes de la creación del método de transporte ya fueron mencionadas anteriormente pero de manera rápida, a continuación se entregará el listado más detallado de los materiales en ambas partes del proyecto.

3.1.1 Carro de arrastre.

En primera instancia el carro de arrastre necesitara una estructura base para situar los equipos, esta estructura constara de dos vigas UPN400 en paralelo de 12 [m] de largo para dar pie a la estructura central, en ella se posicionaran los ejes tanto traseros como delanteros con sus respectivas tornamesa de giro, seguido de esta estructura en paralelo se posicionaran vigas de menor tamaño de manera transversal generando un apoyo para la base de los equipos y su posterior anclaje, de manera de apoyo primario se implementaran vigas UPN200 con un largo respectivo en función al ancho total del carro, como fue mencionado anteriormente el ancho corresponderá a 2,6 [m], de manera de apoyo secundario se implementaran perfiles rectangulares entre los apoyos primarios si se ameritan.

- Estructura principal: Para la construcción de esta estructura se necesitaran dos vigas UPN400, con un dimensionamiento de 400 [mm] X 110 [mm] X 14 [mm], la justificación de será en base a que como fue mencionado anteriormente el carro constara con un largo de 12[m], con relación a esto las dos vigas mencionadas anteriormente son de 12 [m] por lo cual su posicionamiento a lo largo en paralelo dará como resultado una estructura central en la que se podrá posicionar el resto de apoyos como también l0s ejes del carro de arrastre, las vigas de apoyo se dividirán en primaria y secundaria, siendo la primaria la que de la estabilidad transversal en base al posicionamiento de los equipos situados en la parte superior de la plataforma, esta viga UPN200 tendrá un dimensionamiento de 200 [mm] X 75 [mm] X 8,5 [mm], necesitaran tres tiras de 6 [m] cada una, considerando el ancho de 2,6 [m] del carro de arrastre se propondrán seis apoyos primarios transversales sobre la estructura en paralelo sobre las vigas principales, de manera secundaria se propondrán cuatro tiras de 6 [m] de perfil rectangular con un dimensionamiento de 100 [mm] X 50 [mm] X 5 [mm], este perfil será el que del apoyo secundario trasversal de la estructura situándose entre los apoyos primarios según lo amerite la estabilidad de los equipos.

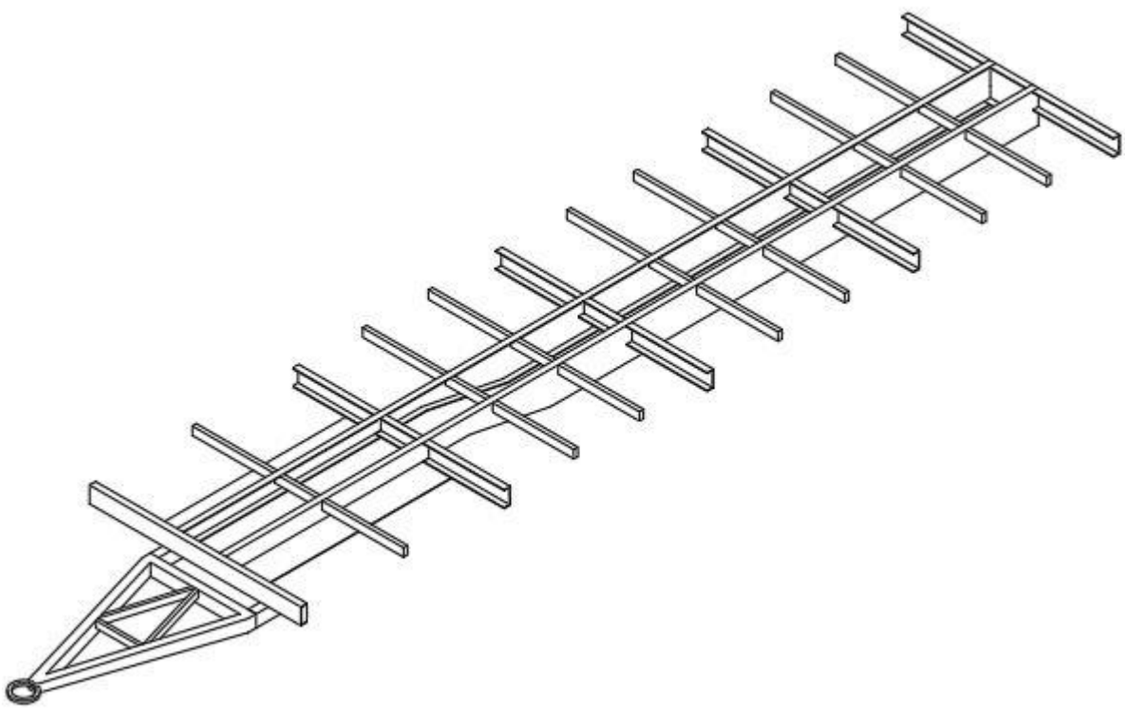

Figura 13: Esquema Estructura principal y refuerzos

Fuente VIII: Esbozo desarrollado en AutoCad sobre Estructura del carro de arrastre, Elaboración Propia.

- Superficie: Una vez planteada la estructura principal se recubrirá la superficie con planchas de acero que de una estabilidad tanto a los equipos como a al operador arriba del carro, en esta se propondrán una plancha de acero A36 de 1000 [mm] X 3000 [mm] X 10 [mm], el posicionamiento de esta será en el área dirigida al operador donde tendrá acceso a las celdas de flotación, para el resto de la superficie se propondrán doce planchas de acero diamantado A36 de 1000 [mm] X 3000 [mm] X 3 [mm], de esta forma se podrá acceder al resto de equipos situados a la superficie, esta última plancha no aportara mayor estabilidad a los equipos ya que dispondrán de un anclaje por pernos a la estructura principal ya sea en la viga primaria en paralelo como a las vigas de apoyo transversales, de esta forma las planchas de acero nos aportaran una mayor accesibilidad hacia los equipos para su operabilidad o si es necesario su mantención.

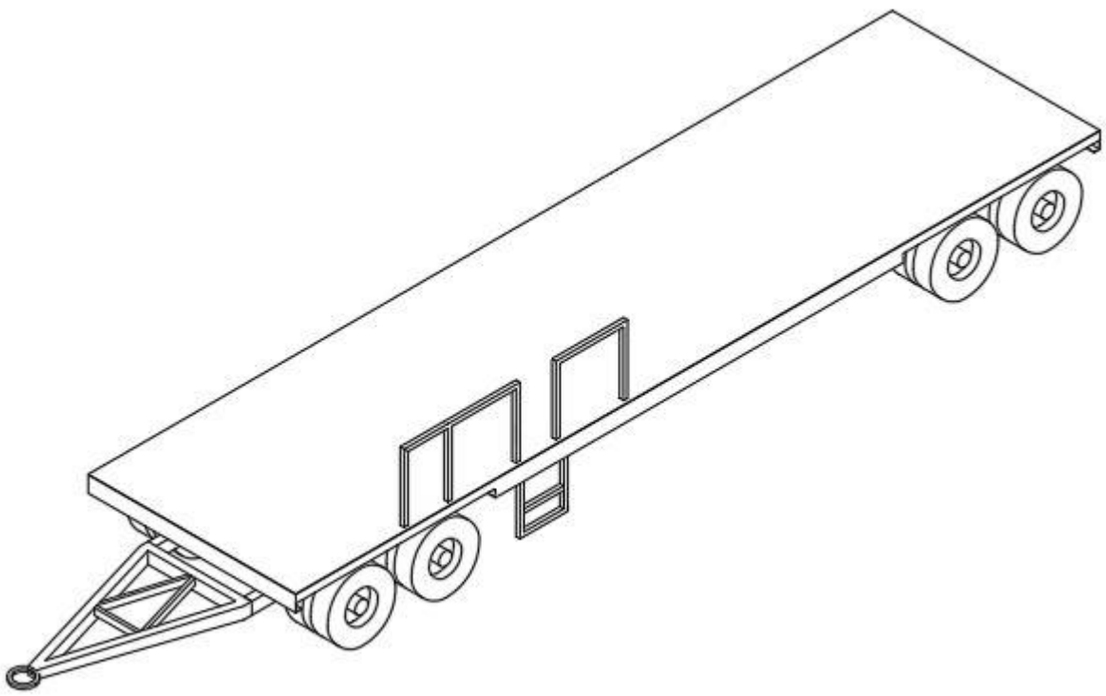

Figura 14:Esquema Superficie esperada

Fuente IX: Esbozo desarrollado en AutoCad sobre plataforma del carro de arrastre, Elaboración Propia.

- Terminaciones y anclaje: Se propondrán una tira de 6 [m] pletina laminada de 100 [mm] X 8 [mm], esta pletina de acero A42 27ES se utilizara para terminaciones en la estructura principal tanto en el frontal como en la parte

trasera d3e la misma estructura, dándole una profundidad a la misma, de igual manera para la construcción del anclaje tipo A se propondrán una tira de perfil rectangular A42 27ES de 6 [m] con un dimensionamiento de 250 [mm] X 100 [mm] X 5 [mm], el posicionamiento de este se podrá apreciar al final del listado, como último perfil utilizado en terminaciones podemos decir que se requerirá una tira de perfil de 6 [m] industrial de 80 [mm] X 40 [mm] X 4 [mm], este último perfil será utilizado en una escalera de acceso y barreras de igual manera para el acceso lateral a la superficie del carro de arrastre por parte del operador.

- Soldadura y consumibles: la soldadura propuesta para la unificación de la estructura principal y la superficie con esta será un carrete Mig de 15 [Kg] ER70S-6 de 0,8 [mm] de diámetro, este alimentado por un tubo de gas protector 80 % argony 20 % CO_2 INDURMIG, la elección de estos es debido a que al trabajar con una estructura que presenta un refuerzo considerable se necesita una soldadura igual de resistente a la hora de unir, en cuanto a los consumibles que serán necesarios para la creación de la estructura como de la superficie se necesitaran seis discos de corte 7 [in], cuatro discos de desbaste de 7 [in] y dos gratas radiales de 4 ½ [in], de igual manera la selección de los consumibles está en función de los materiales en los que se trabajaran, al hablar de aceros con una resistencia considerable en trabajos industriales y una maquinabilidad en función de los trabajos considerados.

- Llanta: En cuanto a las llantas del carro de arrastre se necesitan un modelo que sea de doble aro desplazado con una separación de 7 [in] entre cada neumático, con el fin de lograr una mejor estabilidad y resistencia total del carro de arrastre y su carga, el modelo propuesto es la BAJT-S-1 esta llanta aro 16 es ideal para trabajos de arrastre gracias a su estructura reforzada y una mejora considerable en la estabilidad y agarre del mismo en comparación a otros modelos.

- Neumático: Al referirse al neumático a utilizar se necesita algo con un buen refuerzo y su uso sea dirigido preferentemente al uso industrial para lograr eficacia en cualquier tipo de terreno, se propondrá un neumático especialmente diseñado para carros de arrastre, el neumático QH504 de la marca Roadguider es un neumático aro 16 adaptable a condiciones de trabajo pesadas donde se

necesite un extra en la resistencia, esto es logrado gracias al refuerzo de 16 telas con la que cuenta, otra cualidad a destacar es que su acople en la llanta es sencillo gracias a su modelo tubular, además de contar con una capacidad máxima de 1250 [kg].

- Mano de obra: según una cotización realizada hacia un maestro con certificación indura, la realización de esta propuesta dependerá la totalidad en precio asignado al material solicitado para la construcción y comentado anteriormente, ya que según el total del valor de los materiales relacionados a la creación de la estructura principal y superficie este deberá de ser multiplicado por un factor de 1,5 para obtener el valor de mano de obra requerido.

3.1.2 Flowsheet

Al referirnos al Flowsheet que tendrá el proyecto, podemos dividirlo en varias partes, ya sea al referirnos al sistema de flotación implicado, en el sistema de alimentación de energía, el sistema de recirculación de relaves y el sistema de conexión entre puntos del sistema, al considerar el Flowsheet de esta manera se pueden catalogar de una mejor manera cada equipo que se ve relacionado al proyecto, a continuación se destacaran algunos de los elementos más importantes para el funcionamiento del Flowsheet para posteriormente abordar su costo de adquisición.

- Celda de flotación: el modelo ya antes mencionado 911MPESF-1.2 se aplicará de manera individual en cada una de las etapas en las que se puede desarrollar el equipo, conformando de esta manera un sistema de 4 celdas de flotación, el funcionamiento, las etapas que pueden abordar y los parámetros tanto operacionales como de consumo ya fueron descritos en detalle en el capítulo 2, destacando en esta mención solamente el número de unidades a utilizar para su posterior compra.

- Generador eléctrico trifásico: El modelo propuesto anteriormente es el GSS30D3 de mano de la empresa Kolvok, la elección de este generador fue en función al cálculo realizado para conocer la potencia requerida para alimentar los motores eléctricos de las celdas de flotación, de igual manera el cálculo ya se encuentra explicado en mayor detalle como sus justificantes, el punto a destacar de este generador, es que el dimensionamiento con el que este cuenta y

el eficacia con la que puede trabajar en largas jornadas de trabajo, tratándose así de una flotación continua o de manera más especializada.

- Estanque: Al hablar del estanque o del almacenaje con el que contara el proyecto, podemos decir que más allá de un almacenaje este formara parte del sistema de recirculación del concentrado, si bien se utilizara 1 estanque para el almacenaje del concentrado final, otro estanque será utilizado para la recirculación constante como se pudo apreciar en la figura 6, el modelo propuesto es un estanque vertical extra reforzado de la mano de superbidon, envases industriales, este estanque destinado mayormente a un uso industrializado pero no a una escala tan desarrollada, a pesar de ser considerado como un almacenaje de mediano tamaño, los 5000 [L] de capacidad con los que cuentan serán más que suficiente para nuestro proyecto, ya que la recirculación variara dependiendo de la cantidad de volumen que puedan manejar las celdas de flotación que debido a su tamaño acotado este también es inferior, otro dato a destacar es que está diseñado para el almacenaje y recirculación de líquidos con densidades elevadas y con un alto nivel de agentes deteriorantes a materiales plásticos, como pueden ser los ácidos o los reactivos que puedan quedar en la mezcla, el material del cual está construido es polietileno reforzado LLDPE, además de contar con una entrada de rosca en la parte inferior y la posibilidad de incorporar nuevas entradas, desde el punto del dimensionamiento este es el ideal para el transporte tanto en longitudes como en peso. La cantidad de unidades a utilizar en este proyecto será de 2 como fue propuesto en primera instancia en la figura 6, la guía de compra necesaria para este equipo será descrita más en detalle en punteos siguientes.

3.2 COSTOS DE CREACIÓN

En este apartado se dará hincapié a un costo relacionado tanto como a la adquisición de los materiales necesarios para generar el proyecto como de los costos de creación, con una pequeña mención hacia un estimado que se necesitaría en mantenimiento en un futuro, ya sean sugerencias sobre el buen envejecimiento de la infraestructura como de la mantención programa que estos equipos deberían de tener.

3.2.1 Carro de arrastre

Como fue mencionado anteriormente, el carro de arrastre se propone una creación propia debido al dimensionamiento y capacidad de carga que necesita el proyecto para ser funcional, estas cualidades a destacar pueden ser difíciles de encontrar en carros de arrastre de producción masiva o de uso más doméstico, en la siguiente figura se podrán apreciar la lista de materiales necesarios para la creación del carro de arrastre tanto como la consideración de la mano de obra requerida y guiada por medio de una cotización realizada, posteriormente se asignaran las citas solicitadas para la comprobación pertinente.

Carro de Arrastre				
Componente	Cantidad [un]	Tienda	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
Viga de Acero Laminada UPN 400 de 12 [m]	2	Prodalam	$1.202.790	$2.405.580
Viga de Acero Laminada UPN 200 de 6 [m]	3	Prodalam	$211.990	$635.970
Perfil Rectangular Doblado 100 [mm] x 50 [mm] x 5 [mm] de 6 [m]	4	Prodalam	$111.990	$447.960
Plancha de Acero A36 10 [mm] x 2000 [mm] de 6 [m]	1	e-MultiAceros	$1.267.907	$1.267.907

Plancha de Acero Diamantada 3 [mm] x 1000 [mm] x 3000 [mm]	12	Prodalam	$113.990	$1.367.880
Pletina Laminada A42 27ES 100 [mm] x 8 [mm] de 6 [m]	1	Prodalam	$66.290	$66.290
Perfil Rectangular 100 [mm] x 50 [mm] x 4 [mm] de 6 [m]	1	Construplaza	$80.224	$80.224
Perfil Rectangular 80 [mm] x 40 [mm] x 4 [mm] de 6 [m]	1	Construplaza	$62.665	$62.665
Eje Ballesta doble	2	Carromet	$1.200.000	$2.400.000
Eje de torsión doble	2	Carromet	$370.000	$740.000
Tornamesa 1100 HE18	1	EPYSA	$399.990	$399.990
Llanta desplazada doble BAJT-S-1	8	Combahl	$80.000	$640.000
Neumatico QH504	16	Motorman	$74.720	$1.195.520
			Total	$11.709.986

Tabla 1: Costos Carro de Arrastre

Fuente X: Recopilación desarrollada en Excel de elementos referentes al carro de arrastre, Elaboración propia.

Al referirnos a los costos de los materiales necesarios para la creación del carro de arrastre, se deberá justificar la cantidad requerida para la construcción, de esta manera se podrá plantear la propuesta terminada y tener una visión sobre su desempeño esperado. A continuación, por medio de citas se justificará y se planteará las cantidades necesarias de material, consumibles y mano de obra, esta última por medio de una cotización a un maestro soldador especializado en soldadura Mig, esto para obtener una referencia más en profundidad sobre la creación de la propuesta.

En primera instancia se necesitará una estructura base que, de pie a la estructura del carro de arrastre, esta estructura base será compuesta por dos vigas de acero laminado UPN400, estas se dispondrán de manera paralela, es decir se necesitan dos vigas para lograr la estructura base, el dimensionamiento de esta será en base a las dimensiones solicitadas del carro de arrastre, es decir contaran con un largo de 12 [m] (Prodalam, 2021).

Esta estructura en paralelo necesitara soportes trasversales para el posicionamiento de los equipos a transportar, el soporte transversal primario será gracias a las vigas de acero laminado UPN200 de 6 [m] cada una, la cantidad necesaria para lograr una estabilidad adecuada en la superficie será de tres a lo largo de o los 12 [m] en la estructura principal, es decir, al contar con los 2,6 [m] de ancho en la superficie principal podremos cortar a groso modo la viga puesta anteriormente en dos de esta manera al serán tres vigas se generarían seis soportes transversales primarios (Prodalam, 2021).

Al referirnos al refuerzo transversal secundario podemos decir que constara de un perfil rectangular de 6 [m] cada uno, con una cantidad estimada de cuatro perfiles se generarían como en el caso anterior ocho soportes secundarios transversales a lo largo de la superficie de la estructura (Construplaza, 2021).

Las planchas de acero propuestas para ele desarrollado la superficie constará de una plancha de acero A36 DE 6000 [mm] X 2000 [mm] X 10 [mm], esta será dispuesta para la creación de un segmento de la superficie del área dirigida para el operador (e-MultiAceros, 2021). Al referirnos al resto de la superficie propuesta se dispondrá de plancha de acero diamantado de 3000 [mm] X 1000[mm] X 3 [mm], la cantidad necesaria para esta y la disposición en la que se efectuara, se da en primera instancia de doce unidades que abarcaran una superficie de 12 [m] X 2,6 [m] (Prodalam, 2021).

En cuanto a las terminaciones necesarias para el carro de arrastre, en primer lugar, se hablará de la incorporación de una pletina laminada A42 27ES de 6000 [mm] X 1000 [mm] X 8 [mm], esta pletina será la encargada de fortificar juntas y entregar un margen a superficies planas para no tener un roce cortante hacia el operador (Prodalam, 2021).

De igual manera se implementará un perfil rectangular de 100 [mm] X 50 [mm] X 4 [mm] de 6 [m] de largo, el propósito de este perfil será para la construcción del anclaje tipo a dispuesto en el frontis de la estructura principal (Construplaza, 2021). Otra mención importante será la de la incorporación

de un perfil rectangular de 80 [mm] X 40 [mm] X 4 [mm] de 6 [m] de largo, este perfil será destinado para la creación de una estructura superficial en la parte lateral del carro de arrastre que tendrá como función brindar una fácil accesibilidad para el operador ya que con este se construirán barandas de apoyo u una escalinata para el acceso (Construplaza, 2021).

En cuanto a los ejes requeridos en el proyecto se pueden apreciar dos variedades, los ejes tipo ballesta que es una variante de los ejes rígidos pero variando la incorporación de suspensión en ellos, las 2 unidades consideradas para el proyecto de creación serán utilizadas para el tren trasero del carro de arrastre (Carromet, 2021), por otro lado los 2 ejes de torsión destinados en este proyecto serán dispuestos en el tren delantero con la finalidad de la incorporación de movimientos laterales al carro (Carromet, 2021), tanto como el eje tipo ballesta como el de torsión son considerados como piezas de creación personalizada, otorgando un dimensionamiento a medida, esta opción es gracias a la página Carromet que entrega la posibilidad de contactarse con algún distribuidor que trabaje con piezas personalizadas, estos serán dirigidos por la tornamesa ubicada en la parte inferior del carro de arrastre (Implementos EPYSA, 2021).

Al considerar los materiales que entreguen la movilidad, se propondrán llantas desplazadas como base para la estabilidad y tracción en la rueda, el numero requerido de llantas dependerá de la cantidad de ejes disponibles, siendo 4 por cada lado lateral del carro, el precio considerado fue obtenido mediante una cotización telefónica (Combahl, 2021). Respecto a los neumáticos requeridos, al tener 4 llantas dobles se propondrán 16 neumáticos, el neumático QH504 antes mencionado fue escogido por el refuerzo del mismo en cuanto a materiales y la eficacia en cuanto a trabajos forzados del tipo industrial (Motorman , 2021).

Consumibles				
Componente	Cantidad [un]	Tienda	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
Soldadura Mig Esab ER70S-6 0,80 [mm]	1	Prodalam	$27.490	$27.490
Tubo de gas Indurmig 20	1	Indura	$69.990	$69.990
Disco de corte Acero Secur Extra 7 [in]	6	Prodalam	$1.790	$10.740
Disco de desbaste Acero Rapid 7 [in]	4	Prodalam	$3.490	$13.960

Cepillo copa plana Acero trenzado 4 [in]	2	Prodalam	$10.290	$20.580
			Total	$142.760

Tabla 2: Costos Consumibles

Fuente XI: Recopilación desarrollada en Excel de elementos referentes a consumibles, Elaboración propia.

Para la creación de toda la estructura principal se requerirá una cierta cantidad de componentes consumibles, ya sea carretes de soldadura Mig ESAB ER70S-6 de 0,80 [mm] (Prodalam, 2021), este carrete para soldadura Mig será alimentado por un tubo de gas INDURMIG20 (Indura, 2021), este compuesto con 80% de argón y un 20% de CO_2 logra una composición óptima para la soldadura Mig, estos dos serán los encargados de la unificación de tanto soporte transversales, unión en superficies y terminaciones varias.

Al referirnos a los elementos de corte para la separación de componentes para su posterior calzado en el dimensionamiento, se necesitarán seis discos de corte de acero Secur extra de 7 [in] (Prodalam, 2021), por otro lado, se necesitarán cuatro discos de desbaste de acero Rapid de 7 [in] (Prodalam, 2021), por último, se necesitarán dos cepillos de compa plana de acero trenzado de 4 [in] (Prodalam, 2021), este último destinado a las asperezas que necesiten ser tratadas.

El costo de mano de obra estará ligado principalmente al costo total de los materiales y consumibles necesarios para la creación del carro de arrastre, es decir la suma del costo total de los materiales junto con la suma del costo total de los consumibles, este valor total deberá de ser multiplicado por un factor de 1,5, este factor de 1,5 está relacionado directamente con el cobro que realizara el maestro soldador, la explicación como tal podrá ser vista de mejor manera en la siguiente tabla.

Costo Carro de Arrastre [CLP]	Mano de obra	Costo total [CLP]	Costo Mano de obra [CLP]
$11.852.746	x 1.5	$17.779.119	$5.926.373

Tabla 3: Costos Mano de Obra

Fuente XII: Recopilación desarrollada en Excel de elementos referentes a mano de obra, Elaboración propia.

El factor por el cual se multiplica el costo total fue obtenido por medio de la misma cotización realizada hacia el maestro soldador con especificación en soldadura Mig (Mig, 2021).

3.2.2 Flowsheet

Al referirnos al Flowsheet podemos hablar de los materiales necesarios que hay que adquirir para poder formarlo y construirlo, este ya fue mencionado anteriormente en más detalle sobre los materiales necesarios para su formación, pero a continuación mediante una figura podremos apreciar el costo necesario para su puesta en marcha, además de su justificante cuanto a la cantidad requerida por medio de referencias de la figura 6.

FlowSheet				
Componente	Cantidad [un]	Tienda	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
Celda de flotación 911MPESF-1.2	4	911MetallurgistCorp	$5.048.565	$20.194.260
Generador GSS30D3 33 [KVA]	1	Kolvok	$8.499.000	$8.499.000
Estanque vertical extra reforzado 5000 [L]	2	SuperBidon	$930.000	$1.860.000
			Total	$30.553.260

Tabla 4: Costos FlowSheet

Fuente XIII: Recopilación desarrollada en Excel de elementos referentes al Flowsheet, Elaboración propia.

Como fue señalado anteriormente en la figura 6, se puede apreciar el posicionamiento de las celdas de flotación, de esta forma podemos justificar la cantidad necesaria propuesta en los costos, por otro lado, el valor de referencia obtenido fue gracias a una cotización vía telefónica con el distribuidor, siendo inicialmente de $4.002.350 por cada celda de flotación, no obstante este valor en necesario agregarle porcentajes necesarios para su importación a Chile, ya que la empresa distribuidora está ubicada en Canadá, al multiplicar el valor antes mencionado por 4, que es el número de celdas requeridas, a este deberemos sacarle el 6% del valor total y sumarlo al valor total, esto debido a que el agente aduanero necesita considerar gastos de envíos y recepción para el ingreso al país, a este valor una vez sumado el 6% se le deberá de sacar el 19% haciendo alusión al IVA que este debería de representar, como resultado se obtiene el valor señalado en la figura 10, toda esta recomendación fue obtenida mediante la cotización telefónica en conjunto con el distribuidor (911MetallurgistCorp, 2021).

Al referirse al generador, sus características principales fueron señaladas anteriormente, y su justificante en cuanto a la cantidad de elementos necesario va relacionado directamente a la potencia de funcionamiento con la que trabaja el generador, el precio de referencia señalado en la figura 10 fue obtenido por medio de una página web distribuidora de productos de la empresa KOLVOK (Rembrak, 2021).

En cuanto al almacenaje propuesto para el Flowsheet, como se puede apreciar en la figura 6, según el esquema se puede apreciar el justificativo de por qué la necesidad de implementar un doble estanque, la referencia en cuanto al precio señalado fue obtenida desde la misma página de la marca, quedando señalado como distribuidor directo (SuperBidon, 2021).

3.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO

En primera instancia hay que dejar en claro que esta propuesta de diseño está enfocada para el mejoramiento de la pequeña minería, para esto hay que considerar una serie de variables que podrán ser o no beneficiosas para la propuesta, tales como el promedio de extracción que maneja la pequeña minería, el valor de compra por parte de alguna empresa mayor, en este caso Enami, entre mucho otros, dejando esto claro se abordara el contexto operacional en la Planta Minera Santa Camila ubicada en la localidad de Punitaqui, cuarta región.

En esta planta se propone implementar la propuesta de diseño del sistema de flotación móvil, se prefirió esta planta ya que en ella a pesar de pertenecer a la pequeña minería ya trabajan con celdas de flotación, no son los mejores equipos y su origen es de creación propia pero cumplen con el proceso que queda a disposición de alguna empresa de compra mayor, según el testimonio recopilado por medio de una entrevista al representante legal de la planta minera, Óscar Manuel Segovia Ortiz, este señala que trabaja en la venta de ambos productos, tanto la venta de concentrado en seco como la venta de concentrado de flotación, recalcando el sistema de venta que propone Enami en base a referencias de [lb] del mineral de interés en función a la bolsa de metales de Londres a partir de la ley que estos pudiera presentar, un estimado de extracción de esta planta es de 500 toneladas de concentrado por año, dejando un margen por día según jornada de trabajo de 2 toneladas aproximadamente, de estas dos variara en la calidad y en el estudio que ejerza Óscar si este será predispuesto para flotación o si será puesto en venta como concentrado en seco, Óscar destaca que la venta de concentrado de flotación a pesar de ser más laborioso deja mucha más ganancia, pero no obstante y viéndolo desde el punto más realista y considerando la opinión de Óscar, no todos los días de trabajo en una planta de minería de la pequeña minería son iguales, no

todos los días se extraen las mismas leyes y la ganancia a final de mes es variable en cuanto a la proporción de trabajo y lo que vendieron en el mes, “tampoco es que se vendan siempre concentrados de flotación” a palabras de Óscar, en conclusión el proyecto no podría ser rentable ya que como el mercado de la pequeña minería es tan fluctuante como sus concentrados extraídos, no podría ser posible el proyecto, si bien puede ser visto desde el punto de vista del aprendizaje en cuanto a que factores que hay que considerar para realizar alguna propuesta similar, lo cierto es que la variabilidad de este mercado está poco definida, no como en respecto a la mediana o gran minería que los valores que manejan pudieran ser más exactos o que existieran resultados esperables con presupuestos y ganancias razonables y acordes al grado de operación minera a la que se relaciona.

Otro punto negativo a destacar sobre la propuesta es que a pesar de ser un caso de innovación por parte de ayuda a la pequeña minería, lo cierto es que la pequeña minería ya recibe un apoyo notable por parte de organizaciones como Enami, tales como la disposición de plantas de flotación fijas correspondientes a la gama de la mediana minería, viéndolo desde ese punto de vista la mediana minería al ser una gama mucho más desarrollada y más estable de la minería en comparación a la pequeña minería, este sería una competencia directa en cuanto a la sustentabilidad de la propuesta, dado que no podría surgir de manera más estable por la competencia que este recibe de sectores más desarrollados.

Desde el punto de vista de Tendencias del mercado y volviendo a comentarios relacionados a la entrevista relacionada al representante legal, la propuesta si bien es innovadora, pero en un mercado tan establecido y de cierto modo estructurado acorde a las necesidades del consumidor o pirquinero en este caso, ya muchos prefieren una opción mucho más segura de tratamiento de sus concentrados y una propuesta tan espontanea podría no ser muy bien recibida por parte del público al que está dirigida. (Ortiz, Entrevista sobre sustentabilidad , 2021)

3.3.1 Recuperación

Al hablar de una recuperación estimada de ingresos en primera instancia de se debe establecer cuanto es el ingreso promedio que la planta minera Santa Camila estima, siendo este de entre $140.000 a $800.000 diarios como fue estipulado anteriormente la variabilidad de este ingreso es considerable ya que el factor de venta de concentrado varia tanto en la ley de concentrado como en la cantidad de tonelaje que se venda, por lo cual el promedio estimado de ingreso diario será de $470.000, teniendo en consideración este promedio podemos decir que en una jornada de trabajo

mensual de en promedio 20 días laborales se generara un ingreso de $9.400.000, el estimado de ingreso anual que esta podría generar será de $112.800.000, considerando esto último y en función a la adquisición de tanto equipos del ámbito minero como también puede ser el carro de arrastre o los materiales consumibles para la creación de este último, teniendo en consideración lo anterior se generara un plan de recuperación de ingresos fijos en base a la depreciación impuesta por el SII, tomando como referencia la vida útil de equipos mineros, carros de arrastres y herramientas livianas, estos de igual manera con una tasa de recuperación en base al porcentaje de depreciación de la vida útil de los ingresos fijos a adquirir.

Carro de Arrastre								
Número de años	0	1	2	3	4	5	6	7
Promedio del Ingreso Variable anual	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000
Tasa de recuperación fija del 14,28% depresiación a 7 años	$1.672.856	$1.672.856	$1.672.856	$1.672.856	$1.672.856	$1.672.856	$1.672.856	$1.672.856
Saldo actualizado en base a la Inversión	$11.709.986	$10.037.130	$8.364.274	$6.691.418	$5.018.562	$3.345.706	$1.672.850	$0

Tabla 5: Recuperación Carro de Arrastre

Fuente XIV: Recopilación desarrollada en Excel de depreciación referentes al carro de arrastre, Elaboración propia.

Como se puede apreciar al cuadro referente a la recuperación del carro de arrastre se estimó una vida útil de 7 años en base a la información adquirida en el SII (SII, 2021), teniendo esto en cuenta diremos que el costo del carro de arrastre será de $11.709.986, este costo dividido en la vida útil nos entrega una tasa de recuperación del 14,28% de $1.672.856 por año, esta tasa de recuperación fija anual se minimiza en el impacto que esta influya en el promedio de los ingresos variables anuales, permitiendo de esta manera una depreciación controlada que posterior a los 7 años se verá reflejada en el ahorro por para del costo de ingreso fijo.

Consumibles				
Número de años	0	1	2	3
Promedio del Ingreso Variable anual	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000
Tasa de recuperación fija del 33,33% depresiación a 3 años	$47.587	$47.587	$47.587	$47.587
Saldo actualizado en base a la Inversión	$142.760	$95.173	$47.586	$0

Tabla 6: Recuperación Consumibles

Fuente XV: Recopilación desarrollada en Excel de depreciación referentes a consumibles, Elaboración propia.

Los consumibles o herramientas livianas consideradas en el listado de depreciaciones del SII tienen un estimado de vida útil máximo de 3 años según la normativa (SII, 2021), como se puede apreciar en el cuadro, el costo de estas herramientas livianas será de $142.760, este monto llevado a una depreciación de tres años con un porcentaje del 33,33% en la tasa de recuperación fija anual no implicaría una mayor preocupación por parte de la planta minera, ya que sería un pago de $47.587 por año.

FlowSheet										
Número de años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Promedio del Ingreso Variable anual	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000	$112.800.000
Tasa de recuperación fija del 11,11% depresiación a 9 años	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807	$3.394.807

Saldo actualizado en base a la Inversión	$30.553.260	$27.158.453	$23.763.646	$20.368.839	$16.974.032	$13.579.225	$10.184.418	$6.789.611	$3.394.804	$0

Tabla 7: Recuperación FlowSheet

Fuente XVI: Recopilación desarrollada en Excel de depreciación referentes al flowsheet, Elaboración propia.

Al referirse a maquinaria o equipos en general destinados al trabajo minero podemos decir que por parte del SII estos contaran con una vida útil estimada de 9 años (SII, 2021), el costo de adquisición de estos equipos será de $30.553.260, este valor llevado a una tasa de recuperación fija del 11,11% en función de una depreciación de 9 años, generaría un pago anual de $3.394.807, este valor si es puesto en comparativa a el promedio de los ingresos variables anules de la planta minera no implicaría una mayor preocupación.

Si bien dentro de los valores propuestos para la creación de la propuesta como tal, se puede lograr una depreciación razonable dentro de los factores considerados de la pequeña minería, son mucho más los factores existentes en contra de esta variabilidad en ingresos asociados a esta rama de la minería en Chile, lo que se quiere concluir con la posible recuperación propuesta considerando depreciaciones por parte del SII en función de la vida útil de la maquinaria, es la representación de cómo se desarrollaría la propuesta si existiera una entrada de ingresos más estable por esta rama de la minería como es la pequeña minería.

Al no contar con un ingreso estable y tomando en cuenta la entrevista realizada al dueño de la planta donde en primer lugar se disponía para el desarrollo de la propuesta, se puede apreciar que la propuesta no tendría cabida dentro del funcionamiento de una planta de la pequeña minería, ya sea por la inestabilidad del mercado de compra como la falta de organización de la empresa para turnos de trabajo más consistentes en función de lo extraído, ya que por lo general este tipo de plantas o empresas representativas de la pequeña minería son operadas por unos pocos trabajadores o por los mismos familiares del representante a cargo, como puede ser este el caso, por ende la recuperación de esta propuesta seria tardía y no se lograría ver una ganancia notable de lo propuesto a corto o mediano plazo, siendo tanto perjudicial como para el dueño de la propuesta como el dueño de la planta, ya que este último debería de considerar adaptarse a nuevas condiciones de trabajo, arriesgando la poca estabilidad que maneja por una propuesta agresiva.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta propuesta de diseño desde mi perspectiva personal empezó como una propuesta que personalmente me llamaba mucho, la encontraba muy atractiva en cuanto a tratar de mejorar de alguna manera la rama de la pequeña minería, la idea surgió cuando pude ver por mis propios ojos las precariedades por la que tiene que pasar una rama no tan desarrollada de un sistema tan masivo en cuanto a funcionalidad, ganancias y mejoramiento constante o por lo menos esa era mi percepción, a medida que iba desarrollando aún más la propuesta más me iba dando cuenta que a pesar que no se vean tan presentes las ayudas si están para la pequeña minería, existen programas de apoyo por parte de Enami para poder desarrollar mejor la pequeña minería a nivel de la cuarta región, haciendo énfasis en esta última al ser mi región natal.

Desde el punto de vista más técnico, puedo decir que a pesar proponer algo que no pueda ser viable con el enfoque en el que me centre, existen posibilidades de cambiar el enfoque y ver si podría ser sustentable, un ejemplo de esto sería centrar el enfoque no en la pequeña minería si no en la mediana minería, o presentar la propuesta como un proyecto postulable con bases en el estado, otro enfoque se le puede atribuir es la corrección de futuras propuestas con temas relacionados a este, pero este último ya visto desde la no viabilidad de la propuesta desde un principio.

El desarrollo de esta propuesta al describir el proceso de flotación, procesos previos y la comprensión del funcionamiento de este, se concluye que se logró un análisis fructífero dentro del entendimiento de la información técnica dispuesta, al lograr obtener una mayor caracterización de procesos que pueden ayudar al desarrollo de la propuesta en el entorno de trabajo móvil, se puede detallar de mejor manera un posible diseño para el sistema de flotación, ya sea el de funcionamiento como tal del sistema de flotación y recirculación como el de transporte propuesto, desde el punto de vista del sistema de flotación concluyo que la propuesta como tal se cumplió, si bien es cierto que obvia algunas falencias en su funcionamiento o si su recirculación no es la más óptima, también se puede decir que la elección de algunos equipos quizá tampoco no fue la mejor, viéndolo del punto de vista de la eficacia operacional de los mismos o relacionado directamente al no conocimiento debido de los funcionamientos de cada equipo, siendo una variable que a perspectiva personal me dejo que desear si es realmente funcional.

Desde el punto de vista del método de transporte o la variable móvil a proponer en la propuesta, al ser la creación de un carro de arrastre se pueden suponer distintas falencias en la creación del carro como tal, siendo un gasto considerable el tener que crearlo desde cero, una observación más

rentable que se podría aplicar sería la de la modificación de un carro de arrastre existente, con la capacidad de carga preferente para contenedores metálicos, de esta manera se estima el ahorro de posibles gastos, etc.

Al referirnos al último punto a tratar, se evalúa el apartado referente a los costos en esta propuesta, costos que al ser de creación de la propuesta como tal y la esperada pero inconclusa puesta en marcha, se llega a la conclusión que la propuesta no es rentable, sería posible llevarla a cabo por medio de algunas recomendaciones a considerar como el uso de algún carro de arrastre existente, como también el uso de un Flowsheet conocido para el trabajo en este campo, más concretamente algún modelo de sistema de flotación para pequeñas operaciones mineras, de igual manera y según la recopilación llevada a cabo, estos sistemas de flotación por lo general son poco vistos en operaciones mineras que no requieran de mayor tratamiento y el enfoque de estas es puesto en la utilización de plantas de flotación especializadas pertenecientes a las empresas que compran el concentrado en seco extraído por la rama más baja de este rubro. Fuera de esos factores, se pueden apreciar diversos factores re percutores en la propuesta referentes a viabilidad de la misma, factores como el flujo de ingresos constantemente cambiante en pequeños pirquineros, como también la variabilidad de las leyes tratadas para la venta, siendo vistos en menor medida casos de tratamientos de minerales más allá de la extracción del concentrado en seco en este sector productivo.

BIBLIOGRAFÍA

911MetallurgistCorp, V. (25 de Junio de 2021). Cotización de Celda de flotación. (J. P. Araya, Entrevistador)

autofact. (21 de Diciembre de 2020). *https://www.autofact.cl.* Obtenido de https://www.autofact.cl/blog/mi-auto/tramites/carro-arrastre

Carga Fácil. (4 de Julio de 2011). *http://www.cargafacil.com*. Obtenido de http://www.cargafacil.com/blog/2011/07/04/sugerencias-para-la-fabricacion-de-remolques/

Carromet. (30 de Junio de 2021). *http://carromet.cl*. Obtenido de http://carromet.cl/productos/producto/54/ejes-completos-para-3800-4000-kg

Carromet. (30 de Junio de 2021). *http://carromet.cl*. Obtenido de http://carromet.cl/productos/producto/461/eje-de-torsion-nacional-1800-kg-6-139

Cochilco. (1 de Enero de 2016). *https://www.cochilco.cl.* Obtenido de https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/2016%2011%2023%20Proyecci%C3%B3n%20de%20producci%C3%B3n%20esperada%20de%20cobre%202016%20-%202027%20Vfinal.pdf

Codelco Educa. (1 de Enero de 2018). *https://www.codelcoeduca.cl*. Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/molienda.html

Codelco Educa. (1 de Enero de 2018). *https://www.codelcoeduca.cl*. Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/flotacion.html

Combahl. (30 de Junio de 2021). *https://combahl.cl*. Obtenido de https://combahl.cl/llantas/llantas2.htm

Comisión Chilena del Cobre. (1 de Enero de 2016). *https://biblioteca.digital.gob.cl.* Obtenido de https://biblioteca.digital.gob.cl/bitstream/handle/123456789/1136/Monitoreo%20de%20Variables%20e%20Indicadores%20Relevantes%20de%20la%20Mediana%20y%20Peque%C3%B1a%20Miner%C3%ADa%20Chilena.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Construplaza. (20 de Junio de 2021). *https://www.construplaza.cl*. Obtenido de https://www.construplaza.cl/aceros/perfiles/perfil-rectangular/tubo-ind-rectang-100x50x4-0-x6mts-tt.html

Construplaza. (20 de Junio de 2021). *https://www.construplaza.cl*. Obtenido de https://www.construplaza.cl/tubo-ind-rectang-80x40x4-0-x6mts-tc.html?gclid=CjwKCAjwoZWHBhBgEiwAiMN66f2EWiIFF4OyQ7Bgt3xSuVOKewDPxNvts1xvUAMLKUtuRlrzAS5FHRoCdoQQAvD_BwE

Cotecno . (30 de Agosto de 2021). *https://www.cotecno.cl*. Obtenido de https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/molino-de-bolas-2/

e-MultiAceros. (20 de Junio de 2021). *https://www.e-multiaceros.cl*. Obtenido de https://www.e-multiaceros.cl/producto/planchas-a-36-ancho-2-000mm/?SCID=1

FLSmidth. (1 de Enero de 2021). *https://www.coursehero.com*. Obtenido de https://www.coursehero.com/file/66137900/Ventajas-celdas-WEMCOpdf/

Implementos EPYSA. (30 de Junio de 2021). *https://www.implementos.cl*. Obtenido de https://www.implementos.cl/inicio/productos/ficha/tornamesa-1100-he18-JOSENG0001

Indura. (20 de Junio de 2021). *https://www.indura.cl*. Obtenido de https://www.indura.cl/web/cl/278-z/indurmig-20

Mig, M. s. (7 de Julio de 2021). Cotización Mig. (J. P. Araya, Entrevistador)

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaria de Transportes. (23 de Diciembre de 2020). *https://www.bcn.cl.* Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=31779

Motorman . (30 de Junio de 2021). *www.motorman.cl*. Obtenido de http://www.motorman.cl/neumaticos-coloso-7.50x16-7.50-16

Ortiz, Ó. M. (25 de Junio de 2021). Entrevista sobre sustentabilidad . (J. P. Araya, Entrevistador)

Ortiz, Ó. M. (20 de enero de 2021). Mejoras a implementar en la Pequeña Mineria, Practica Profesional. (J. P. Araya, Entrevistador)

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/34353-UN/viga-de-acero-laminada-upn-400-de-12m-largo?grupo=WA000246

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/29431-UN/viga-de-acero-laminada-upn-200-de-6m-largo?grupo=WA000246

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/31963-UN/plancha-de-acero-diamantada-de-3mm-x-1000mm-x-3000mm?grupo=WA000039

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/32414-UN/pletina-laminada-a42-27es-100mm-ancho-x-8mm-espesor-de-6m-largo?grupo=WA000061

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/85150-RLL/alambre-para-soldadura-mig-solido-esab-er70s6-de-080mm-diametro-en-rollo-de-15kg?grupo=WA000390

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/35167-UN/disco-de-corte-acero-secur-extra-7-x-32mm-de-espesor?grupo=WA000002

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/14113-UN/disco-de-desbaste-acero-rapid-7-x-640mm-de-espesor?grupo=WA000005

Prodalam. (20 de Junio de 2021). *https://www.prodalam.cl*. Obtenido de https://www.prodalam.cl/productos/76727-C/U/cepillo-copa-plana-alambre-acero-trenzado-de-diametro-4-modelo-cp41z50-con-acoplamiento-m14?grupo=WA000345

Reglamento de Seguridad minera, Ministro de Minería. (14 de Junio de 2013). *https://www.bcn.cl.* Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=221064

Rembrak. (30 de Junio de 2021). *https://www.rembrak.com*. Obtenido de https://www.rembrak.com/products/generador-33-kva-trifasico-kolvok-gss30d3

Rumbo Minero. (1 de Junio de 2018). *https://www.rumbominero.com*. Obtenido de https://www.rumbominero.com/revista/informes/chancado-y-molienda-en-mineria-paso-previo-hacia-el-material-fino/

SII. (19 de Julio de 2021). *https://www.sii.cl*. Obtenido de https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm

SuperBidon. (30 de Junio de 2021). *https://www.superbidon.cl*. Obtenido de https://www.superbidon.cl/p_565/Estanque-5000-litros-vertical-extra-reforzado

YecoMachinery CO., Ltd. (30 de Agosto de 2021). *http://www.yecomachinery.com*. Obtenido de http://www.yecomachinery.com/products/crushers/jaw-crusher/yj-series-jaw-crusher/