

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

IMPLEMENTACIÓN DE CAMPANA DE CAPTACIÓN DE GASES SECTOR DESCARGA ESCORIA DE
CONVERTIDOR TENIENTE DE FUNDICIÓN DE COBRE

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL MECANICO

ALUMNO PATRICIO E. VILLARROEL ARENAS

PROFESOR GUIA JOSE IGNACIO VERGARA RAMIREZ

2018

Resumen

Hoy en día se requiere que los procesos productivos de la industria sean eficientes y amigables con el medio ambiente. La industria de la minería del cobre no está exenta de esta necesidad, por tanto, los esfuerzos están dirigidos a mejorar todos los procesos de extracción de este mineral, con el fin de evitar que generen daños para el entorno y las personas.

Las principales emisiones atmosféricas asociadas a estos procesos mineros y metalúrgicos del cobre son, por un lado, todas las emisiones de partículas, producto de las operaciones de extracción, procesamiento y transporte de los productos minerales y, por otro lado, las emisiones de polvos, dióxido de azufre y compuestos metálicos volátiles como el trióxido de arsénico asociadas a las fundiciones.

Una de las técnicas importantes en la obtención de cobre puro es la fundición. Las fundiciones utilizan procesos a temperaturas normalmente por sobre los 1.200 °C. Esta fase llamada Pirometalurgia es la más importante y más antigua de los métodos extractivos de metales utilizado por el hombre.

Este trabajo se enfoca en dar solución de manera conceptual al proceso de fundición de cobre, en particular a un punto de generación de gases tóxicos, donde no existe un sistema de mitigación de gases residuales.

Se presentará una línea lógica, donde se explicarán las situaciones ambientales, de operación actual, y deficiencias de mitigación de gases. Posteriormente se presentarán alternativas de solución, las que serán analizadas con el fin de seleccionar la alternativa que mejor se destaque en los ámbitos de características dimensionales, operacionales, factibilidad constructiva, mantenimiento y confiabilidad.

.

INDICE

Contenido	
CAPITULO I	- 6 -
1. INTRODUCCION	- 6 -
1.1. Situación Ambiental.....	- 6 -
1.2. Situación Operacional	- 7 -
1.2.1. Convertidor Teniente CT.....	- 8 -
1.2.2. Convertidor Peirce Smith	- 9 -
1.2.3. Horno Eléctrico	- 9 -
CAPITULO II	- 12 -
2. DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL	- 12 -
2.1. Área operativa fundición.....	- 12 -
2.2. Equipos CPS.....	- 14 -
2.3. Equipo Convertidor Teniente y Horno Eléctrico	- 16 -
2.4. Equipo Convertidor Teniente	- 24 -
2.5. Filtros de Mangas	- 25 -
CAPITULO III.....	- 27 -
3. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS	- 27 -
3.1. Criterios para establecer alternativas.	- 27 -
3.1.1. Consideraciones / restricciones para el diseño	- 27 -
3.2. Alternativa N°1	- 27 -
3.2.1. Ventajas	- 30 -
3.2.2. Desventajas.....	- 30 -
3.3. Alternativa N°2	- 31 -
3.3.1. Ventajas	- 33 -
3.3.2. Desventajas.....	- 33 -
3.4. Alternativa N°3	- 33 -
3.4.1. Ventajas	- 35 -
3.4.2. Desventajas.....	- 35 -

3.5. Alternativa N°4	- 35 -
3.5.1. Ventajas	- 37 -
3.5.2. Desventajas.....	- 37 -
3.6. Alternativa N°5	- 38 -
3.6.1. Ventajas	- 39 -
3.6.2. Desventajas.....	- 39 -
3.7. Selección de Alternativa	- 40 -
3.7.1. Tabla Resumen	- 41 -
3.7.1.1. Criterios de aceptación.....	- 41 -
CAPITULO IV	- 42 -
4. DESARROLLO DE ALTERNATIVA CONCEPTUAL SELECCIONADA	- 42 -
4.1. Situación actual	- 43 -
4.2. Desarrollo de alternativas para la implementación	- 46 -
4.2.1. Alternativa 1	- 49 -
4.2.2. Alternativa 2	- 51 -
4.2.3. Alternativa 3	- 52 -
4.3. Análisis de constructibilidad de alternativas.....	- 54 -
4.3.1. Análisis Dimensional de Equipos Principales.....	- 54 -
4.3.2. Operaciones.....	- 73 -
4.3.3. Factibilidad Constructiva.....	- 74 -
4.3.4. Mantenimiento.....	- 75 -
4.3.5. Confiabilidad.....	- 77 -
4.4. Selección de alternativa.....	- 79 -
4.5. Costos alternativas	- 80 -
4.5.1. Estimación costos de Adquisición Alternativas.....	- 82 -
4.6. Recomendaciones.....	- 83 -
CAPITULO V.....	- 87 -
5. CONCLUSIONES	- 87 -
BIBLIOGRAFIA	- 90 -
ANEXOS	- 91 -
Anexo 1 Propiedades Mecánicas Viga	- 91 -

Anexo 2 Catálogo SMC Diámetros Cilindros	- 92 -
Anexo 3 Catalogo motores eléctricos WEG	- 93 -
Anexo 4 Cotización Junta Rotacional.....	- 94 -

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1. Situación Ambiental

Una de las fundiciones de cobre en Chile, se encuentra inserta en un complejo industrial, decretado como “Zona Saturada de Gases”, por lo que sus emisiones son regidas por el Plan de Descontaminación del Complejo Industrial y las normas de calidad primaria y secundaria del Aire (Gases y Material Particulado).

Según los valores de calidad del aire al año 2014, que se muestran en la Tabla 1, se indica que la categorización de la zona es como sigue: sobre el 80% de la norma (zona latente) y sobre la norma (saturado)

CONTAMINANTE	NORMA Ug/m3	VALOR 2014 Ug/m3
Mp10/ Anual	50	43
MP2.5/ Diario	50	47
MP2.5 Anual	20	20,3

Tabla 1 Valores de calidad del aire al año 2014.

Por lo anterior, el año 2015 el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), mediante D.S. 10/2015, declara a las comunas, involucradas en el sector, zona saturada por material particulado fino respirable MP2,5 como concentración anual, zona latente por el mismo contaminante respecto a su concentración 24 horas y como zona latente por material particulado respirable MP10, como concentración anual.

Dentro del marco de sus políticas y estrategias de descontaminación, La Fundición, ha firmado acuerdos de producción limpia y planes de descontaminación que pretenden disminuir las emisiones contaminantes. Para lo anterior la empresa ha desarrollado y ejecutado proyectos para ajustarse a los planes y lineamientos medioambientales y de paso cumplir con la nueva normativa (Decreto 28) ver Tabla 2, la que establece límites máximos de emisión de SO₂ y As para fuentes existentes para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico.

FUENTE EMISORA	SO ₂ (ton/año)	As (ton/año)
Alto Norte	24.000	126
Caletones	47.680	130
Chagres	14.400	35
Chuquicamata	49.700	476
Hernán Videla Lira	12.880	17
Potrerosillos	24.400	157
Ventanas	14.650	48

Tabla 2 Límites de emisión de SO₂ y As para fuentes existentes.

Simultáneamente, las fundiciones existentes deberán cumplir con un porcentaje de captura y fijación del azufre (S) y del arsénico (As) igual o superior a un 95%.

1.2. Situación Operacional

En términos generales y a modo de descripción se menciona que la planta cuenta con las siguientes áreas principales de operaciones para su funcionamiento:

- Fundición
- Refinería electrolítica
- Planta de ácido

Dentro de la fundición, que es el área de operación de nuestro interés, se pueden mencionar los principales equipos necesarios para su operación, ver tabla 3

Equipo	Cantidad
Convertidor Teniente (CT) ϕ 4m x 15 m de largo	1
Convertidor Peirce Smith (CPS) ϕ 3m x 9 m de largo	3
Horno Eléctrico (HE) ϕ 10m x 5 m de alto	1

Tabla 3 Equipos principales en área fundición.

1.2.1. Convertidor Teniente CT

El convertidor Teniente, es un horno basculante, formado por un cilindro metálico, dispuesto en posición horizontal y revestido por ladrillos refractarios en su interior. Este horno está montado sobre un sistema de cremalleras que le permiten oscilar como se muestra en la Figura 1.

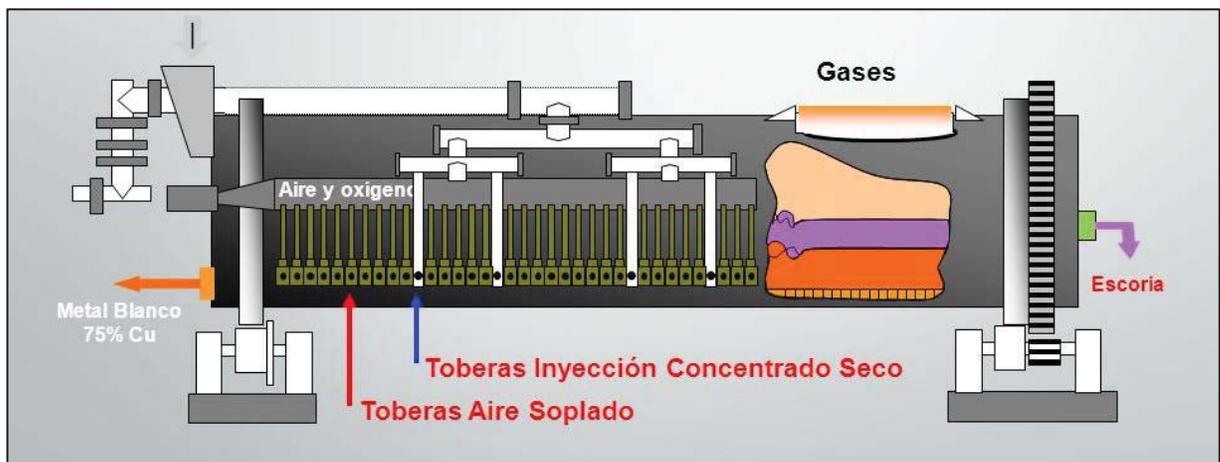


Figura 1 Esquema de Convertidor Teniente.

En el Convertidor Teniente los elementos se concentran en fases, de acuerdo a su peso:

Metal blanco: corresponde a la parte más pesada del material fundido y se encuentra en la parte baja del convertidor. Contiene entre un 70% a 75% de cobre.

Escoria: es la parte más liviana del fundido, la cual se envía de vuelta a hornos destinados a limpieza de escoria para recuperar el contenido de cobre que aún le queda.

1.2.2. Convertidor Peirce Smith

El convertidor Peirce-Smith consiste en un reactor cilíndrico, donde se procesa el metal blanco proveniente del Convertidor Teniente. Ver figura 2

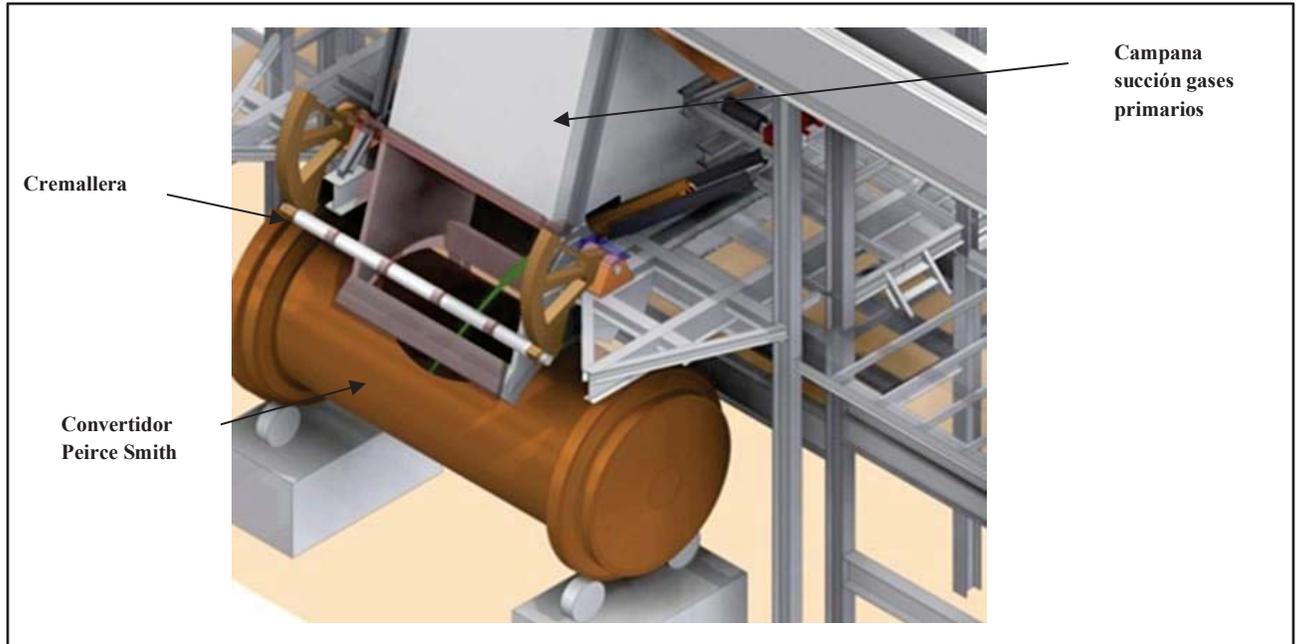


Figura 2 Esquema CPS.

Este es un proceso cerrado, es decir, una misma carga es tratada y llevada hasta el final, sin recarga de material. Finalmente se obtiene cobre blíster, con una pureza de 96% de cobre.

1.2.3. Horno Eléctrico

El Horno Eléctrico es un equipo que a través de tres electrodos genera un arco eléctrico el que aporta la energía necesaria para fundir el metal, como se muestra en la figura 3. Este equipo tiene como función realizar la limpieza de la escoria que proviene del CT, de modo de extraer el cobre que aún posee el metal fundido. Al igual que en los otros equipos, por diferencia de densidades se separa el metal blanco de la escoria, por lo que a través de un canal se conduce el metal blanco hacia la olla de transporte, el que seguirá su viaje hacia los CPS y la escoria a disposición final.

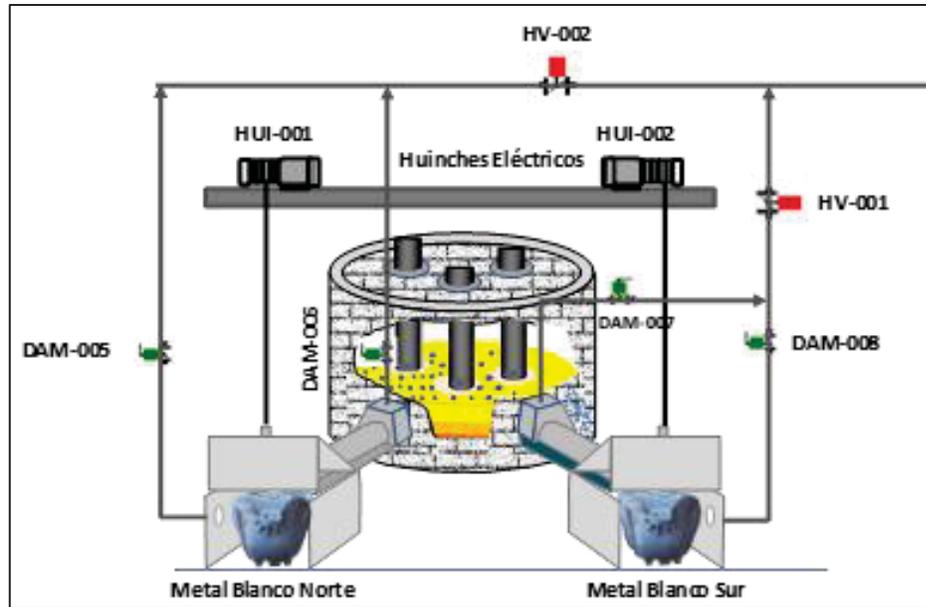


Figura 3 Esquema Horno Eléctrico.

Cada uno de estos equipos emiten gases y material particulado, y para ello se han desarrollado ingenierías y ejecutado obras, para lograr la captación de los gases secundarios y fugitivos provenientes de las fuentes antes mencionadas y derivarlos a la planta de tratamiento de gases, para posteriormente liberar los gases limpios a la atmosfera por la chimenea existente.

A modo de descripción general, se han desarrollado proyectos medioambientales, los que se mencionan a continuación:

- Captación de gases secundarios CPS.
- Captación de gases fugitivos de sangrías del HE y CT.
- Captación de gases secundarios del CT
- Planta de tratamiento de gases.

Según las mediciones propias del complejo, estos proyectos han alcanzado una captura global de Azufre (S) de 96,9% \pm 0.5% y de 97.6% de Arsénico (As), valores que están dando cumplimiento a la normativa, la que establece un porcentaje de captura igual o superior al 95%.

Dentro de los proyectos y obras ejecutadas que tiene relación con la captación de los gases fugitivos de las sangrías del HE y CT, quedó pendiente dar solución a la sangría de escoria del Convertidor Teniente (CT). Si bien es cierto, la solución para las sangrías es la misma para todas, esta no se pudo aplicar a la sangría de escoria porque los espacios que quedarían disponibles, no permitirían la libre circulación de maquinaria para la limpieza de la boca del convertidor CT.

Dado que fue desestimada la solución para la sangría de escoria de CT, se deberá desarrollar y ejecutar una solución que se adapte a la realidad del terreno, de modo que la implementación de la solución cumpla con los requerimientos de operación y mantenimiento de la planta.

CAPITULO II

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL

2.1. Área operativa fundición

El complejo industrial posee entre sus instalaciones una fundición de cobre, una refinería electrolítica y una planta de ácido y sus productos finales son ánodos de cobre, cátodos de cobre y ácido sulfúrico respectivamente.

El proceso de la materia prima dentro de la fundición es como el que se muestra en la figura 4

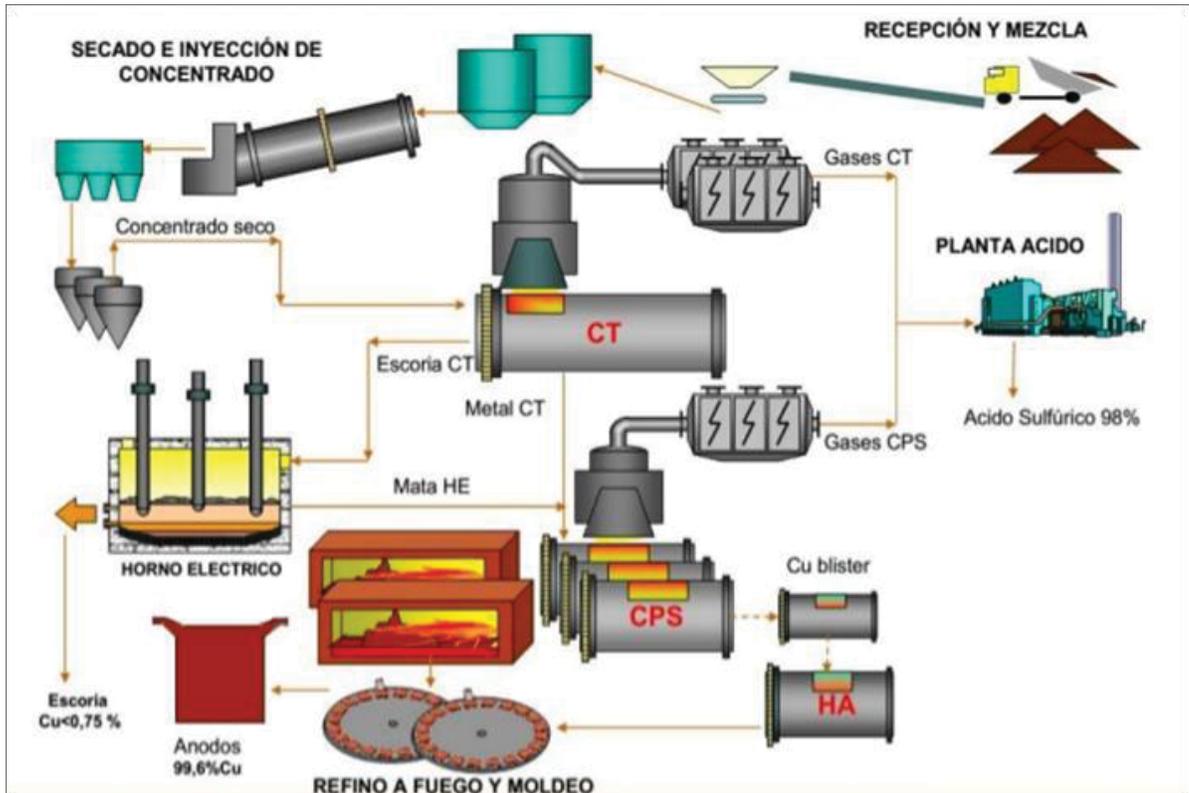


Figura 4 Diagrama de Proceso

Donde el concentrado de cobre del orden del 20 a 30% de Cobre (Cu), inicia su trayecto en el área de recepción y mezcla, para luego pasar por secciones que lo preparan para llegar al Convertidor Teniente (CT). Este equipo permite fundir el concentrado de cobre que llega a él, generando como producto metal blanco con un 73% de Cu, el que es procesado en los Convertidores Peirce Smith (CPS), y escoria con 8 % de Cu, la que se transporta al Horno Eléctrico (HE). Este último permite captar el cobre que aún posee la escoria del CT y como producto entrega escoria que se va a disposición final y metal blanco que sigue hacia los CPS. Finalmente, el cobre blíster que producen los CPS con un 98% de Cu, se traslada al horno de ánodo y posteriormente pasa a la rueda de moldeo, donde salen los ánodos de cobre con un 99,7% de Cu. Estos productos después pasan a la planta de Refinería Electrolítica, donde son transformados en cátodos de cobre con una calidad de 99,99% de Cu.

Todos los procesos anteriormente mencionados producen una gran cantidad de gases, tanto primarios, secundarios como fugitivos. Los gases primarios producidos por efecto de las reacciones de fusión (CT) y conversión (CPS) son actualmente captados mediante unas campanas primarias que dispone cada reactor, y conducidos a la Planta de Ácido, con lo que se logra una captación del 94,5% del azufre que ingresa a la Fundición. Estos gases que ingresan a la planta de ácido son materia prima para la generación de ácido sulfúrico el que es comercializado. Los gases que se generan contienen gran cantidad de contaminantes como SO₂, As, Hg, material particulado (MP), además de elementos inertes como N₂, agua, O₂.

Las Políticas Corporativas han establecido disminuir las emisiones de gases liberadas a la atmósfera para asegurar un mejor ambiente para los trabajadores y las comunidades vecinas, evitando fundamentalmente los máximos de emisiones que se producen durante los tiempos en que los convertidores basculan por razones operativas. Además, se debe cumplir con la nueva normativa de fundiciones en Chile, por lo cual se han desarrollado proyectos con el fin de mitigar la emanación de gases de los procesos que actualmente son expulsados directamente a la atmosfera.

Los principales focos que se han atacado con proyectos de inversión son los que se mencionan a continuación:

2.2. Equipos CPS

- Implementación de campanas de captación de gases secundarios como se observa en la figura 5.

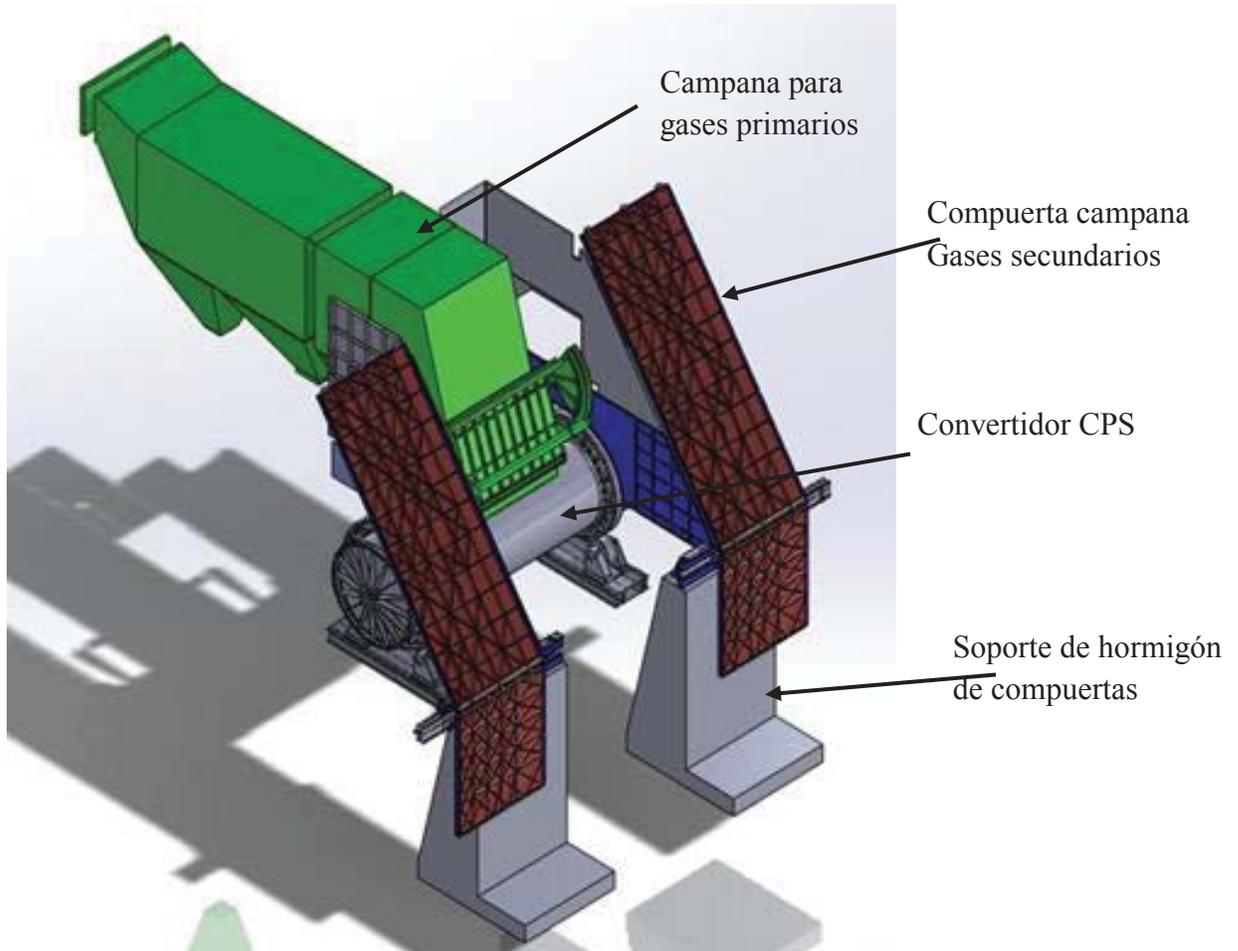


Figura 5 Campana Secundaria CPS

El objetivo del proyecto es captar los gases fugitivos que no pueden ser capturados por las campanas primarias en un 90 %, mediante el encapsulamiento de los gases utilizando tecnologías de campanas secundarias. En la figura N° 6 se muestra un plano de elevación, donde se muestra el momento en que el puente grúa, alimenta con metal blanco al convertidor CPS y por tanto sus compuertas están abiertas. Contrariamente la figura 7 muestra una vista frontal con las compuertas cerradas.

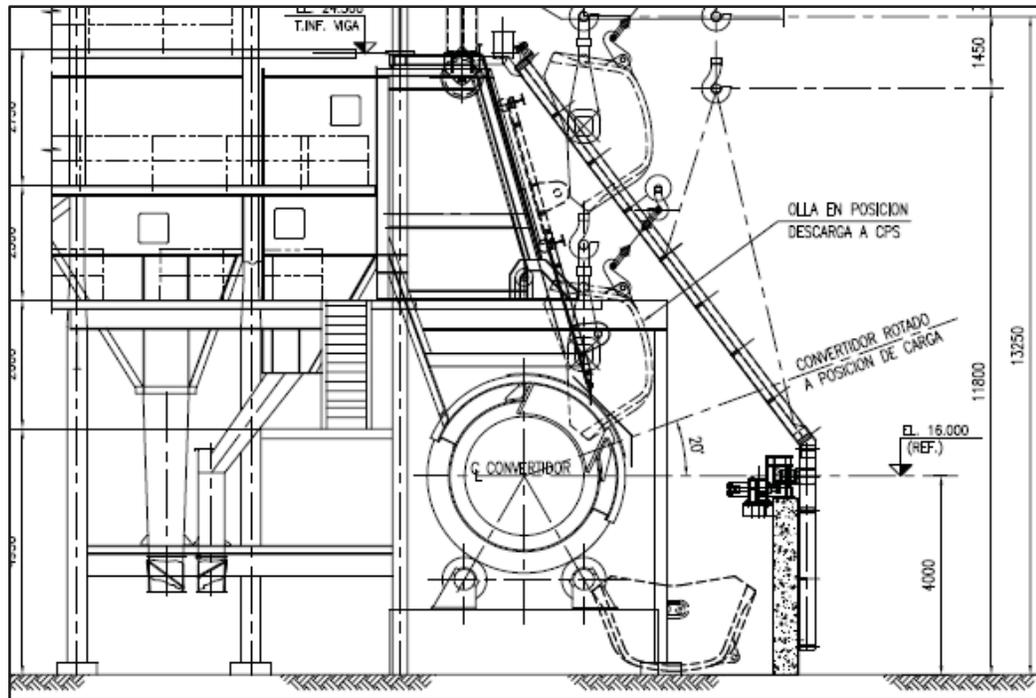


Figura 6 Campana Secundaria alimentación vista lateral CPS

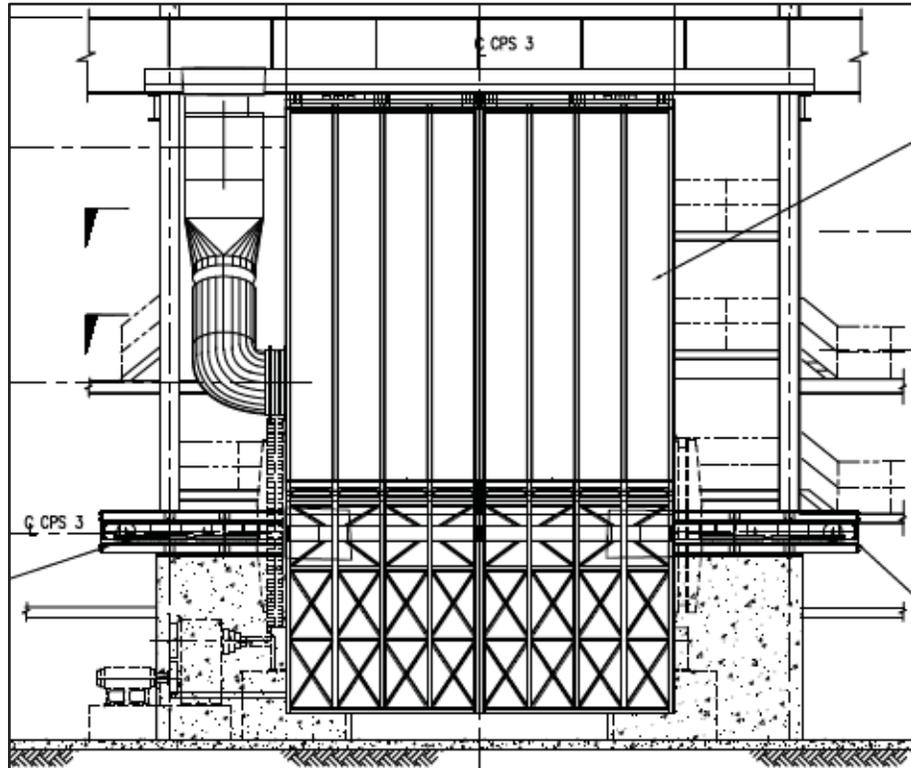


Figura 7 Campana Secundaria Vista frontal Compuertas Cerradas CPS

El proyecto, por lo tanto, considera la mitigación de los gases fugitivos que escapan a la atmósfera, mediante la captación de las emisiones fugitivas durante el giro de los convertidores CPS. Esta captura se produce, por la acción de unos ventiladores de tiro inducido (VTI), los que producen un vacío en las líneas de ductos que llegan hasta los costados de las campanas secundarias de los CPS, captando los gases que no pueden ser aspirados por las campanas primarias.

2.3. Equipo Convertidor Teniente y Horno Eléctrico

En el equipo CT se consideran dos focos de emanaciones de gases. El primero es mitigar los gases fugitivos de las dos salidas o descargas de metal fundido que posee el convertidor, denominadas “sangrías”, y segundo, los gases secundarios que se generan por la boca del equipo. Por lo anterior existen dos proyectos donde se abarcan estas situaciones.

Considerando el caso de los gases fugitivos de las sangrías del CT y HE, profundizaremos en más detalle los proyectos involucrados en estos equipos, considerando además que el CT será el equipo donde centraremos nuestro interés en este trabajo.

Como se mencionó anteriormente, el CT posee dos sangrías, una de metal blanco y otra de escoria, ambas sangrías poseen un camino construido de una base estructural la que es cubierta por ladrillo refractario y revestidos por un hormigón refractario. A este macizo se le denomina “canala” y es el encargado de conducir el metal fundido hacia una olla de transporte, como se muestra en la figura N°8 y 9

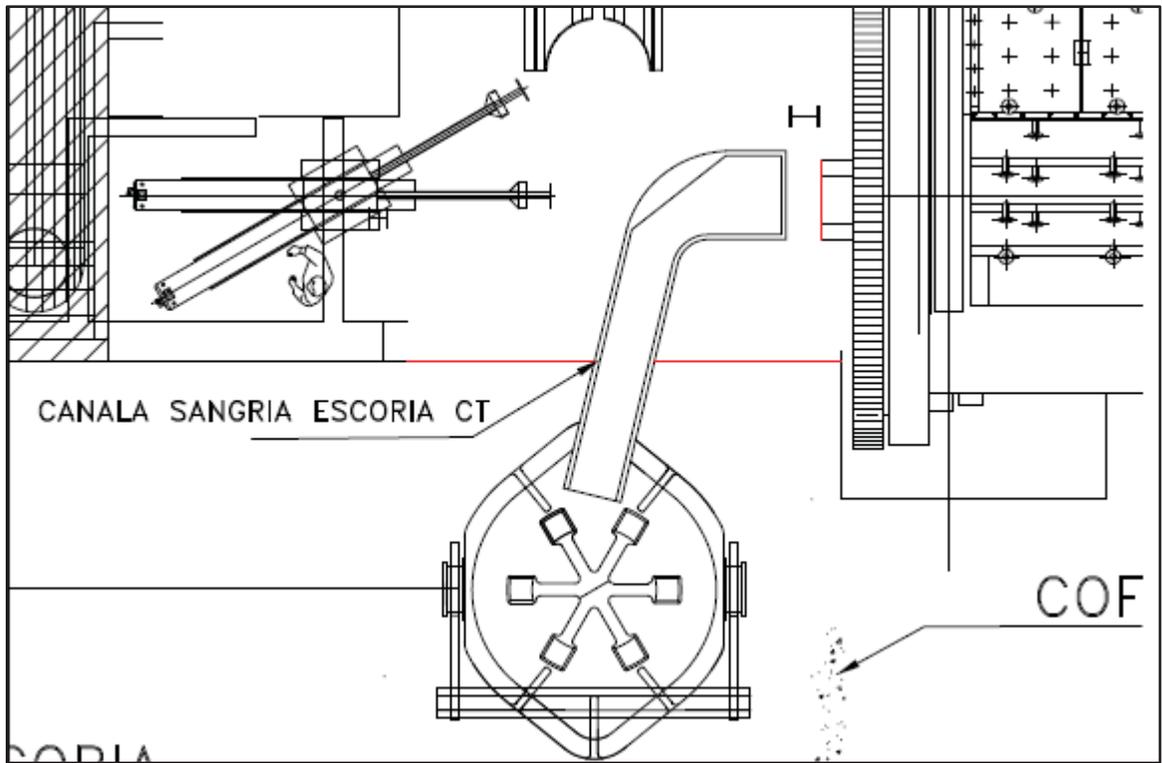


Figura 8. Planta – Canala lado escoria CT

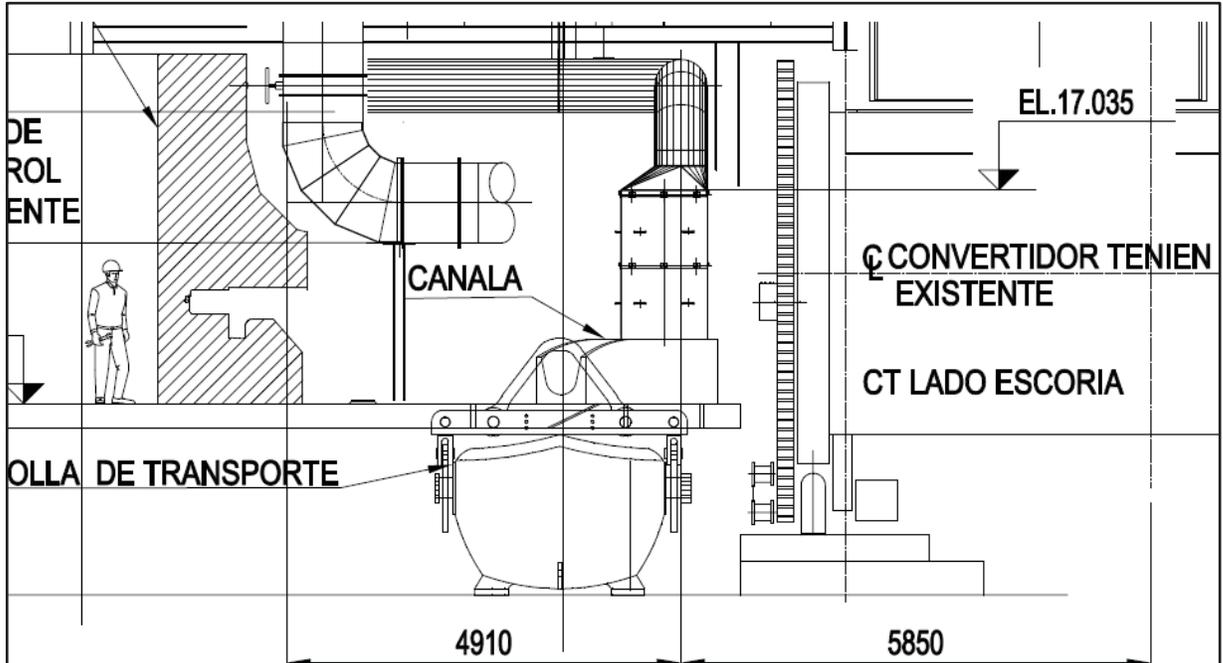


Figura 9 Elevación – Canala lado escoria CT

En la figura 10, se puede ver un esquema de CT, donde las flechas verdes representarían la “Canala”.

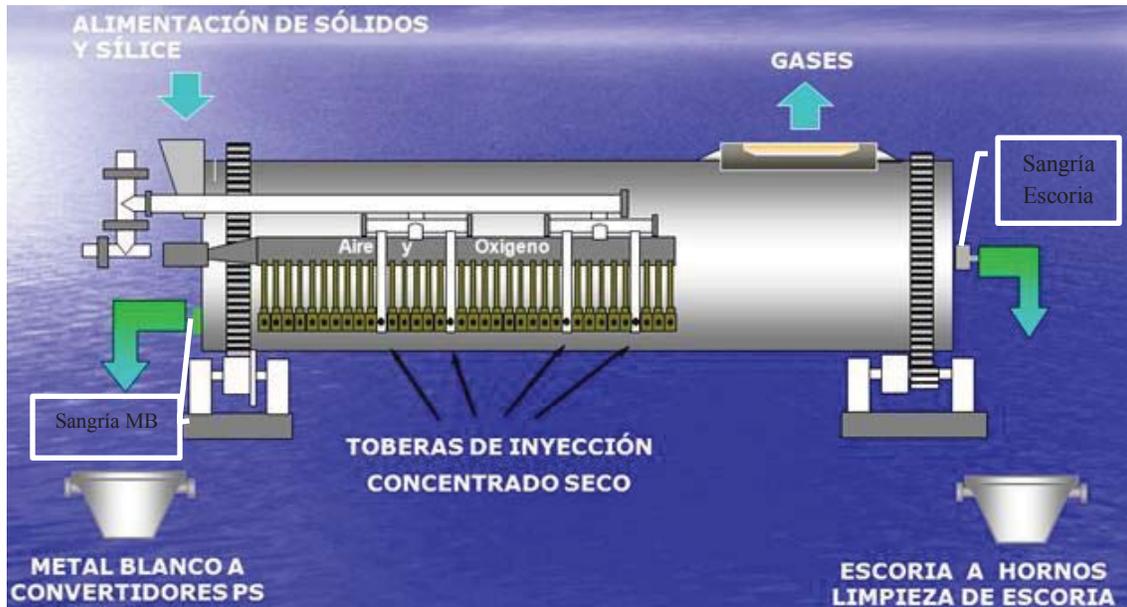


Figura 10. Esquema Convertidor Teniente

El metal fundido, metal blanco-escoria, se separa por diferencia de densidad en el interior del convertidor. El equipo posee en los extremos unos conductos, llamados pasajes, que es por donde vaciará el equipo su contenido. En un extremo, al nivel medio, se encuentra el pasaje para descargar la escoria, dada su menor densidad esta se encuentra sobre el metal blanco que tiene una densidad mayor. Por el otro extremo existe un pasaje que está en el nivel inferior, y este permite la descarga del metal blanco. Para ambos casos, el proceso descrito se le denomina “Sangrado”. En el caso del sangrado de la escoria, la olla de transporte es trasladada al horno eléctrico, para que sea procesada y se pueda extraer el cobre que aún posee. En el caso del sangrado del metal blanco es trasladada hacia los convertidores CPS, donde sigue el proceso de conversión.

La nave de fundición donde se encuentra ubicado el Convertidor Teniente y Horno eléctrico, posee un sistema de captación de gases no adecuado para los estándares ambientales vigentes, ya que solo captan parte de los gases primarios (94,5%) y los gases fugitivos provenientes de las sangrías son liberados sin ningún tipo de control al exterior, generando un foco de contaminación peligroso para el medio ambiente y las comunidades aledañas.

Cuando el Convertidor Teniente y Horno eléctrico, están en el proceso sangrado, se generan emanaciones de gases fugitivos, como los que se pueden observar en la Figura 11 y 12.



Figura 11. Emanaciones de gases provenientes de la sangría del HE



Figura 12. Emanaciones de gases de la sangría de escorias, Convertidor Teniente

Para resolver la captura de estos gases fugitivos, se han desarrollado proyectos y ejecutado obras, entre las que destacan para el interés de este documento, el llamado “Captación gases sangrías CT y HE”. Este proyecto dio solución a los gases fugitivos que se escapan, al momento de abrir los pasajes de las sangrías, ya sean del convertidor teniente y/o horno eléctrico. El primero posee dos (sangría metal blanco y sangría escoria) y el segundo posee tres, dos de metal blanco y uno de escoria. La solución única que se presentó para los dos equipos es la de confinar la olla de transporte, de manera que cuando la olla se encuentre en posición y este recibiendo el metal fundido, los gases no puedan escapar y puedan ser conducidos por los ductos destinados para estos efectos hacia la planta de tratamiento y posteriormente hacia la chimenea existente para ser expulsados a la atmosfera.

Detallando el proyecto, se indica que para las sangrías se instaló un sistema de captación de gases fugitivos, el que consiste en un cofre de hormigón (donde se posiciona la olla de transporte). ver figura N°13

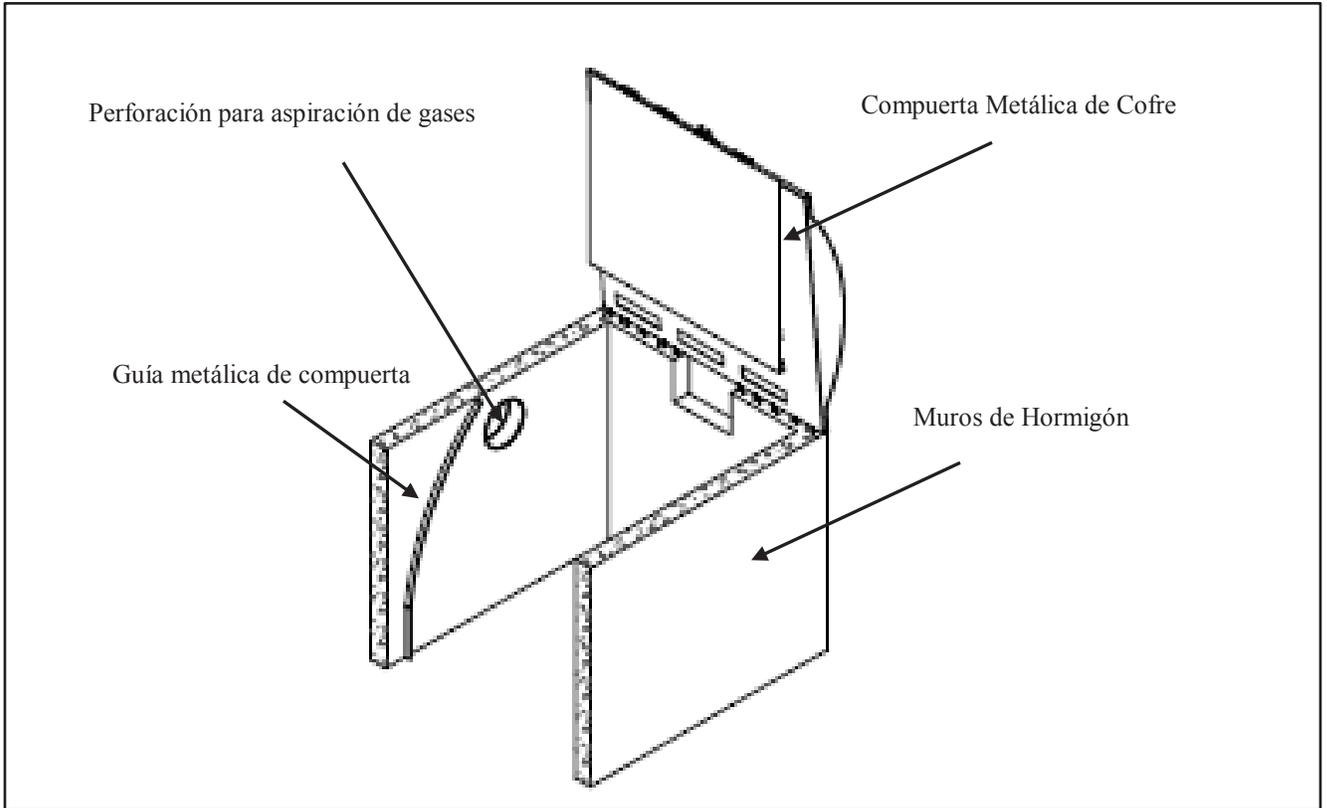


Figura 13. Vista Isométrica Cofre

el que tiene conectado un ducto para captar los gases, con la ayuda de un ventilador de tiro inducido VTI. Este cofre en la parte superior posee una tapa metálica, la que es accionada mediante un cable conectado a un huinche eléctrico, el que es operado desde la sala de control de la fundición de manera manual. En el momento que el CT está descargando el metal fundido, la tapa metálica está en la posición de cerrado (abajo), de manera de confinar los gases que se producen cuando se está llenando la olla de transporte con el metal. Y cuando es necesario posicionar la olla de transporte o retirarla, la tapa metálica se encuentra en la posición abierta (arriba), de manera que el puente grúa pueda tomarla y seguir con el proceso.

En la figura 14 se esquematiza la proyección de los cofres en ambas sangrías del CT y la figura 15 muestra de manera más esquemática la solución de cofres con sus respectivos equipos eléctricos para el accionamiento de las tapas, del sistema de captación de gases fugitivos de las sangrías.

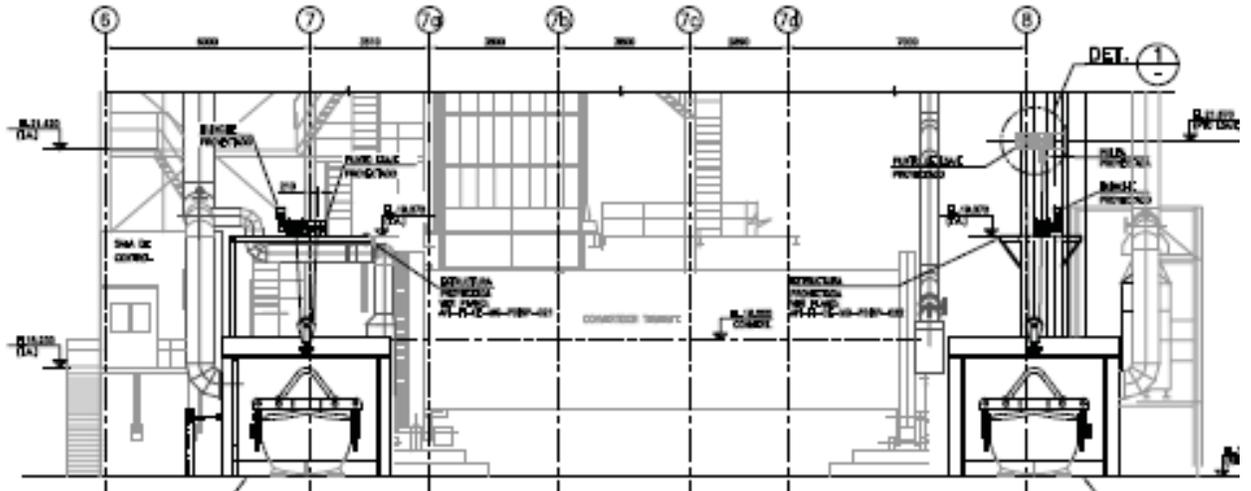


Figura 14. Elevación vista frontal Poniente del CT con sus sangrías.

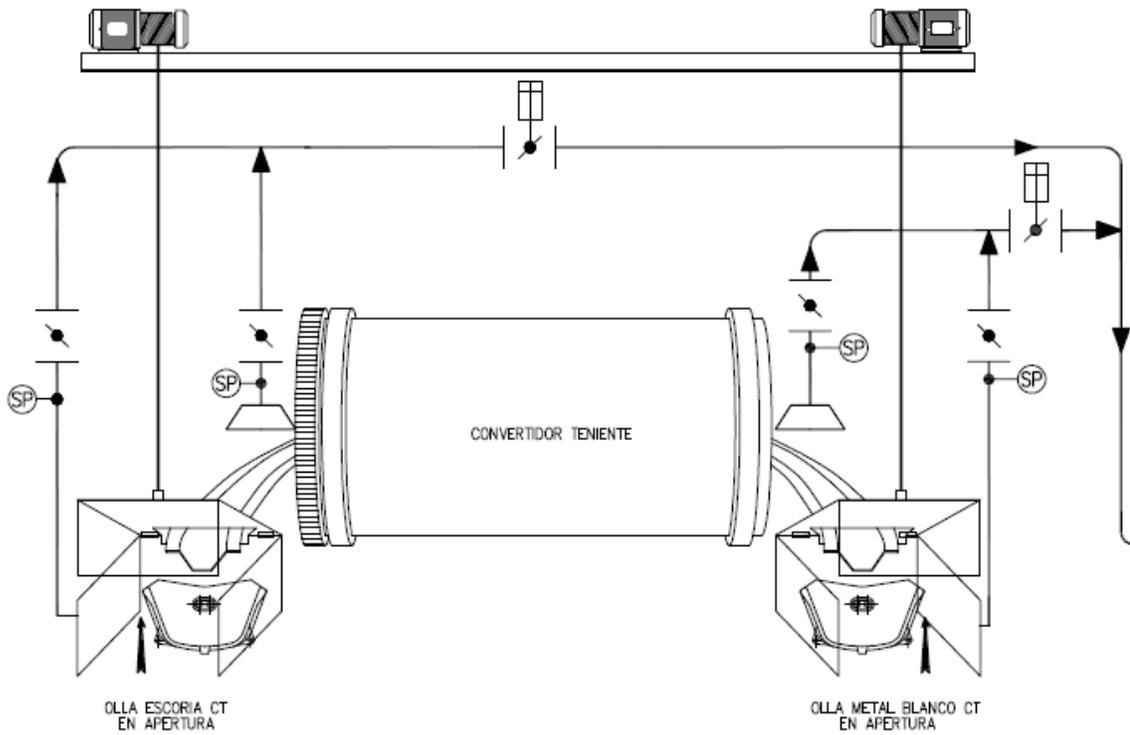


Figura 15. Esquema Vista Frontal CT

Esta solución planteada para el caso de la sangría de escoria (ver figura N°16), se descartó, dado que los espacios que se proyectan disponibles en el eje de la nave de la fundición, serían muy estrechos para el paso de maquinaria pasada, necesaria para realizar limpieza, tanto en

las canales, como en la boca del convertidor teniente. Esta limpieza consiste en sacar las acresiones (costras de metal solidificado) que se pegan, tanto en las canales como en la boca de los equipos. Esta limpieza se realiza utilizando un martillo hidráulico, herramienta que se monta en maquinaria pesada con orugas.

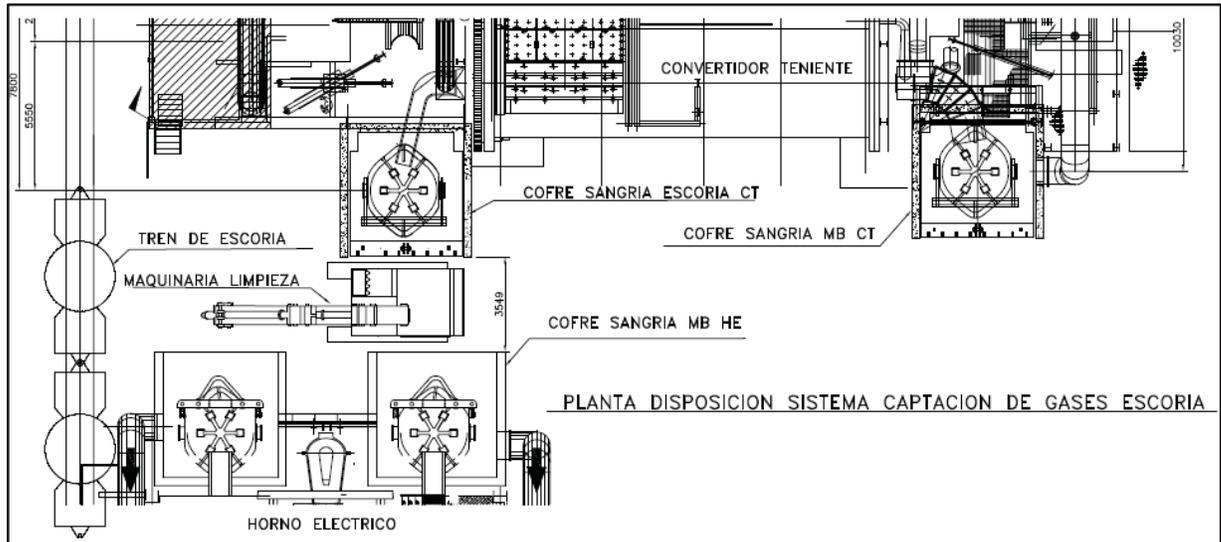


Figura 16. Esquema Vista Frontal CT

En la figura 16, se representa la condición en la que, implementados los cofres en las cuatro sangrías de los equipos (2 sangrías convertidor teniente y 2 sangrías horno eléctrico), el espacio que resulta entre el cofre de la sangría de escoria del convertidor teniente y el cofre de metal blanco lado norte del horno eléctrico es muy reducido y dificulta el libre tránsito de maquinaria de limpieza. Si bien es cierto, la solución es muy eficiente en términos de captación de gases, dado que la olla de transporte queda totalmente encofrada mientras fluye el metal fundido, no fue posible implementarla en la sangría de escoria, porque su posición se emplazaba prácticamente enfrentando el cofre de la sangría del MB lado norte del horno eléctrico, reduciendo el espacio libre de paso entre estos dos cofres como se ha mencionado anteriormente.

Actualmente la olla de transporte de escoria del Convertidor Teniente no cuenta con sistema de captación de gases fugitivos, es por esto que se proyectó desarrollar un sistema de

captación de gases, de manera de poder completar el proyecto y cumplir con la reducción de emisiones contaminantes comprometida.

2.4. Equipo Convertidor Teniente

Anteriormente mencionamos que este equipo tenía dos focos de emanaciones de gases, el primero emanaciones por sangrías, indicado en la sección anterior y el segundo corresponde a los gases secundarios que se generan en la boca de alimentación del CT.

Para lo anterior se desarrolló un proyecto que contempló la implementación de un Sistema de Captación para los gases secundarios que no son capturados por las campanas primarias del CT, diluirlos con aire atmosférico para bajar su temperatura, conducirlos a través de ductos hasta el sistema de abatimiento, filtros de mangas y enviarlos a la atmósfera mediante la acción de un ventilador de tiro inducido, a través de una chimenea. En la figura 17 se muestra un esquema de la campana desarrollada, la que tiene una hoja fija y una móvil, de modo que cuando sea necesaria la alimentación de material fundido al CT, la parte móvil pueda subir y dar espacio al puente grúa con la olla de transporte al momento de cargar el equipo.

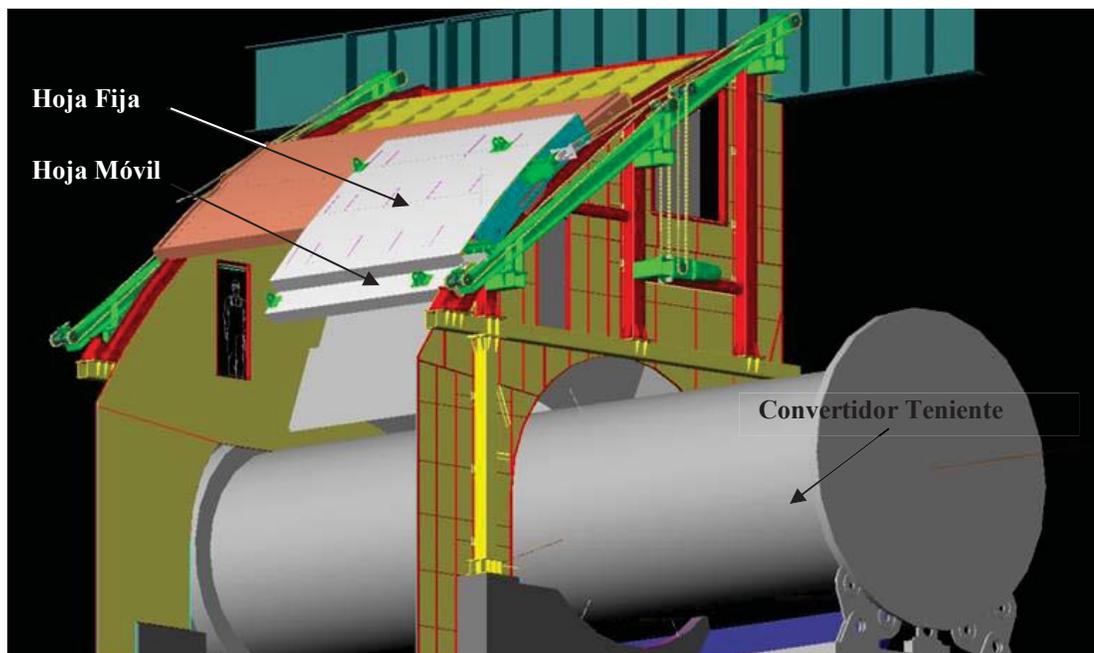


Figura 17. Esquema Campana secundaria CT

La campana para poder captar los gases generados posee dos ductos a los costados como se muestra en la figura siguiente

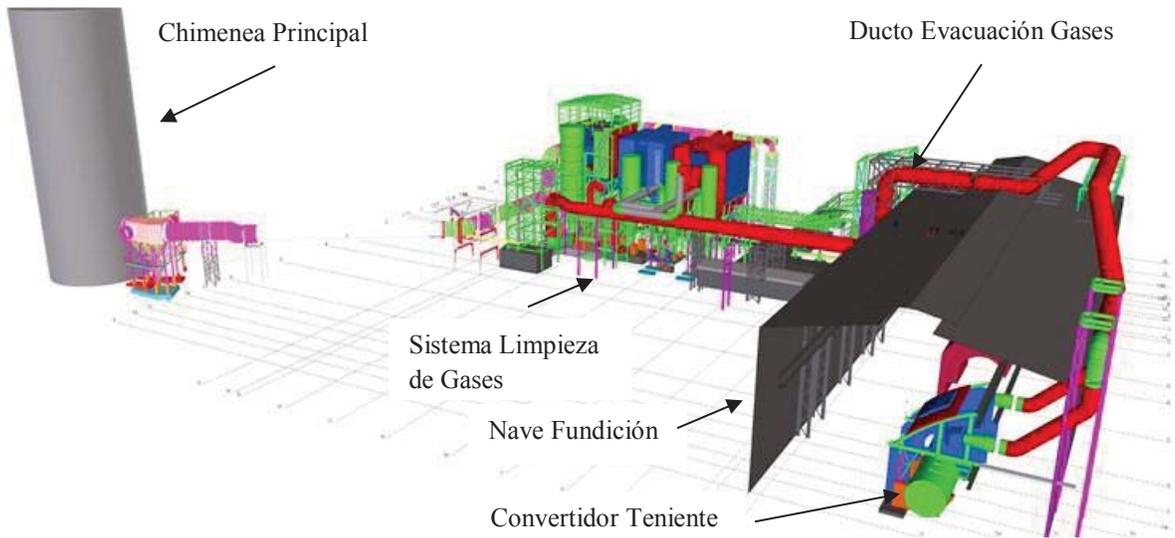


Figura 18. Esquema de ductos campana secundaria Convertidor Teniente

2.5. Filtros de Mangas

Una vez captados los gases, tanto secundarios como fugitivos, es necesario filtrarlos y poder captar el material sólido que va junto a ellos, por este motivo se proyectaron cuatro cuerpos de filtros de mangas, para cada una de las fuentes captadas, CPS, Sangría CT, Sangría HE y secundarios CT. Además, se implementó el uso de 5 ventiladores de tiro inducido, 4 operativos y 1 Stand by, para provocar la suficiente diferencia de presión para transportar todos los gases fugitivos y secundarios captados, tanto del convertidor teniente (boca y ambas sangrías), horno eléctrico (ambas sangrías) y de los 3 convertidores CPS (boca), hacia los filtros de manga y conducirlos posteriormente a la chimenea existente.

En las figuras 19 y 20 se muestran las maquetas en diferentes perspectivas de los filtros de mangas y los sistemas de ductos montados.

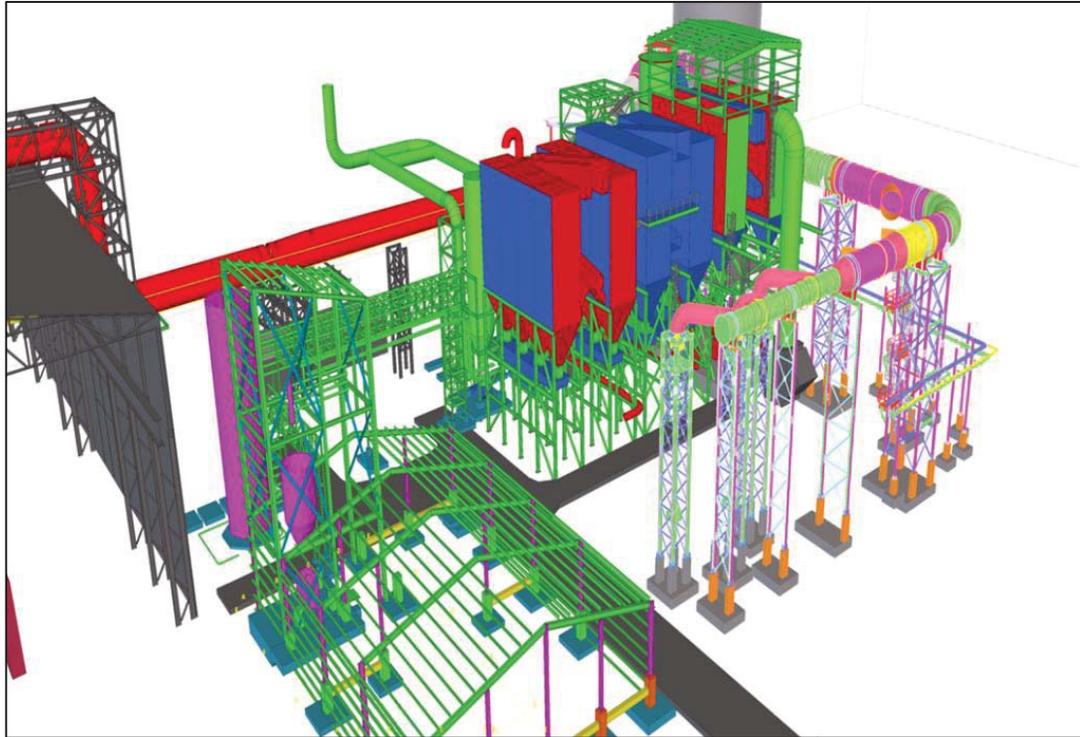


Figura 19. Esquema Filtro de Mangas (vista norte)

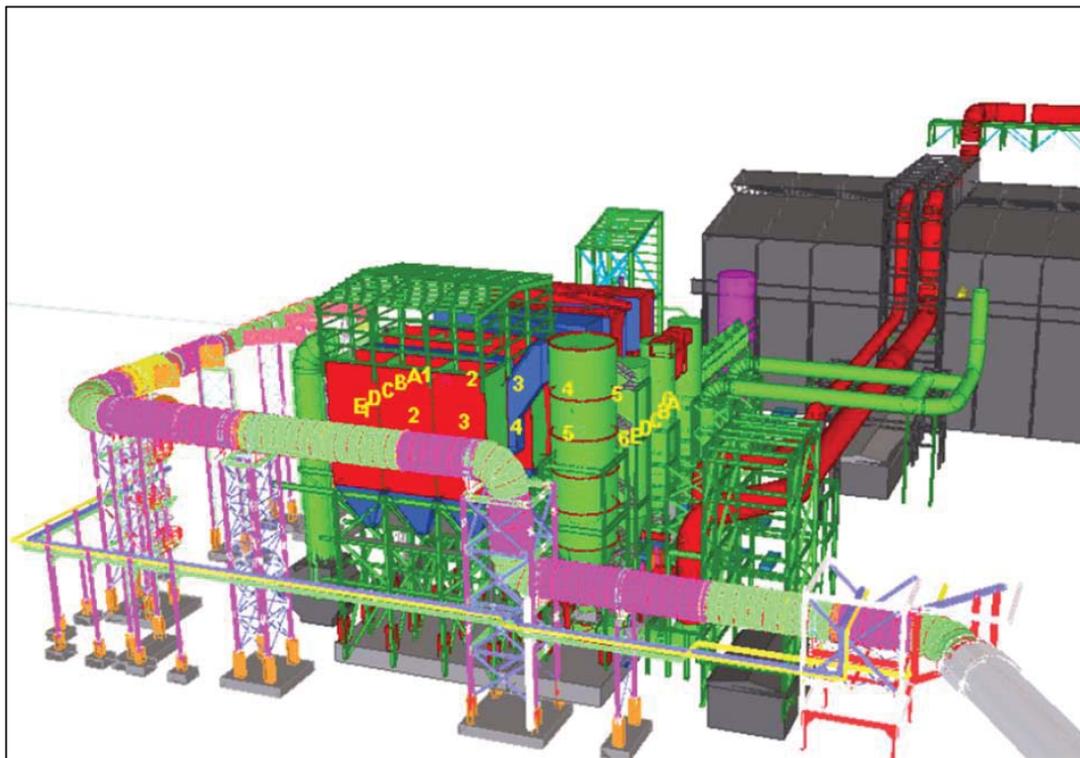


Figura 20. Esquema ductería Filtro de Mangas (vista poniente)

CAPITULO III

3. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS

3.1. Criterios para establecer alternativas.

Los criterios que se tendrán en consideración, para la elección de la alternativa serán los que se indican a continuación:

- Seguridad a las personas.
- Minimizar impactos en la Operación y Mantenimiento, de modo de no afectar el normal desarrollo de esos ámbitos.
- Diseños que permitan acceso de los equipos de limpieza.

3.1.1. Consideraciones / restricciones para el diseño

Se debe considerar las siguientes restricciones para el desarrollo de las alternativas

- Acceso para maquinaria de limpieza a canaletas y tránsito interior nave.
- Permitir operación normal de taponeadora.
- Evitar exposición de sangrador frente a canaleta.
- Restricción/Interferencia con Sistema Motriz del CT.
- Restricción/Interferencia con Sala control Lado Sur CT.

3.2. Alternativa N°1

Construcción de cofre con tapa abatible accionada con huinche. La posición es alejándose de los cofres de MB del HE. Se considera, además, un nuevo sistema de “Taponeadora” Giratorio o con Desplazamiento lateral. Este dispositivo es el encargado de tapan el pasaje por donde descarga material fundido el CT. Producto del desplazamiento del cofre, se debe además modificar la canaleta a tramo recto. En la figura 21, se muestra la planta del cofre proyectado.

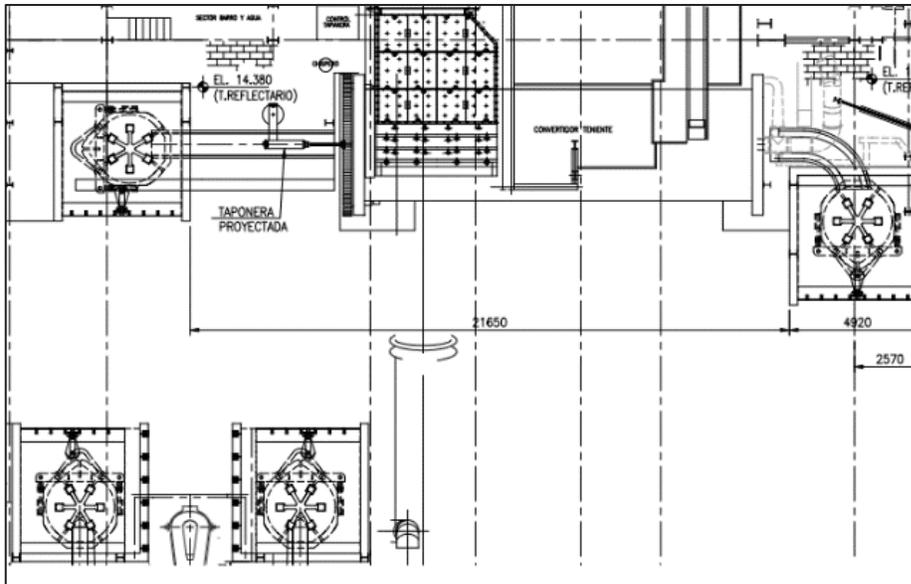


Figura 21. Proyectoado. Planta de Layout

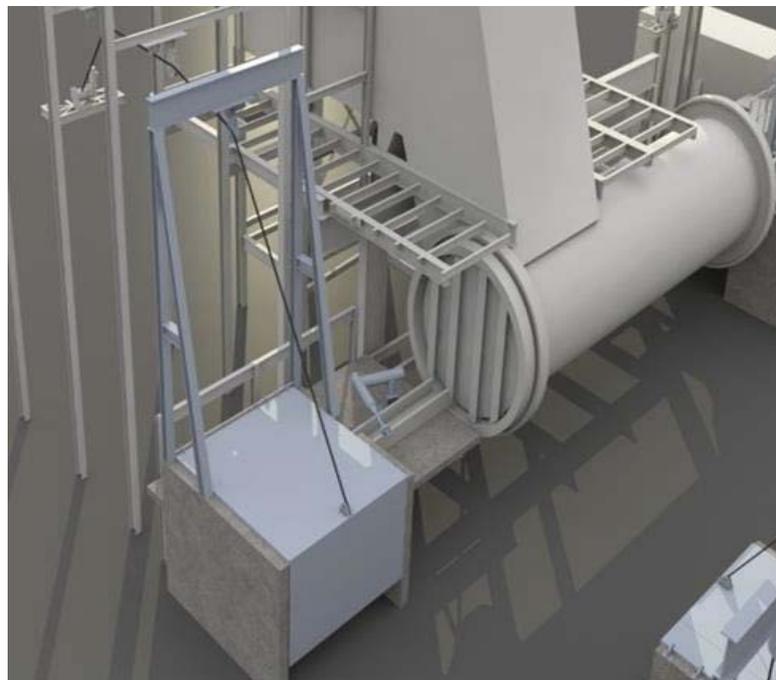


Figura 22 Maqueta Cofre Cerrado Alternativa N°1

Las figuras 22 y 23 muestran las condiciones del cofre abierto y cerrado. La figura 24 y 25 muestra como maquinaria de limpieza puede acceder a los lugares necesarios para ejecutar su labor.



Figura 23 Maqueta Cofre abierto Alternativa N°1

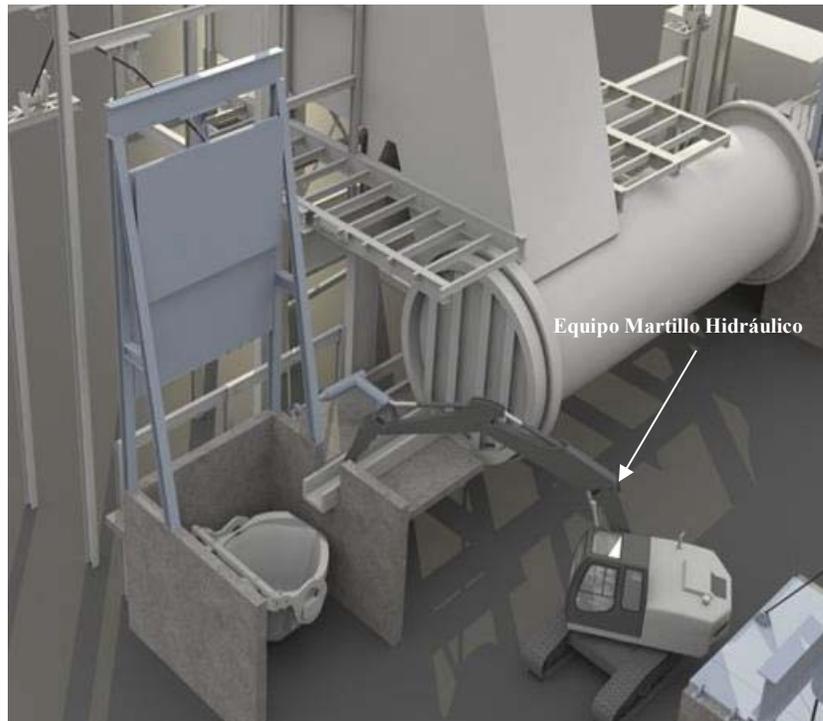


Figura 24 Maqueta limpieza de Canala Alternativa N°1



Figura 25 Maqueta limpieza de canala Alternativa N°1

3.2.1. Ventajas

- Permite acceso para maquinaria de limpieza de canaleta.
- Permite acceso de máquina de limpieza por piso nave (cargador frontal).
- No afecta sistema de transmisión CT.
- Simplifica diseño de tapas (no requiere realizar izaje, sólo apertura y cierre).

3.2.2. Desventajas

- Requiere modificación de canaleta a un tramo recto. Operador enfrenta sangrado de forma directa para apertura de placa escoria.
- Restricción de puente grúa para realizar giro de olla en forma directa. Se incorpora plataforma de giro en piso dificultado tareas de mantención. Eventual restricción en llenado de olla para evitar derrame de líquido.
- Requiere nuevo sistema Taponeadora Giratorio o con Desplazamiento lateral.
- Demolición y reposicionamiento sala de Control.

3.3. Alternativa N°2

Construcción de cofre con pared lateral abatible y tapa abatible accionada con huinche. Mantiene el sistema de taponeadora actual. Se modifica Canaleta (145°, canaleta más larga) Requiere modificar ángulo posicionamiento olla (restricción de puente grúa, implica sistema de plato rotatorio en piso) Demolición y reposicionamiento sala de control.

Las figuras 26, 27 y 28 muestran el cofre en posición cerrado, abierto y maquinaria de limpieza en el sector respectivamente.

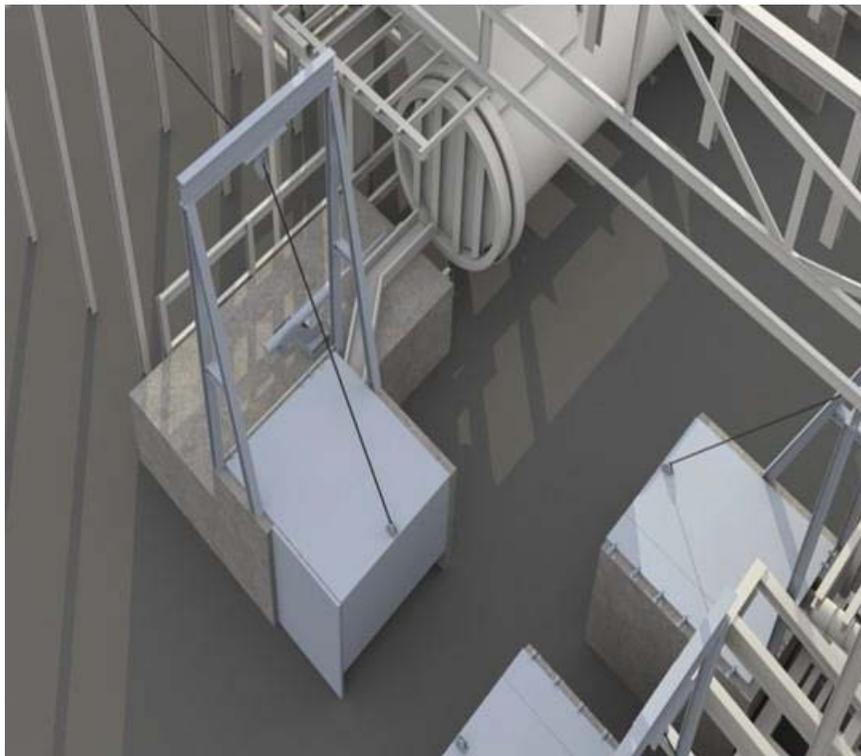


Figura 26 Maqueta Cofre Cerrado Alternativa N°2



Figura 27 Maqueta Cofre Abierto Alternativa N°2

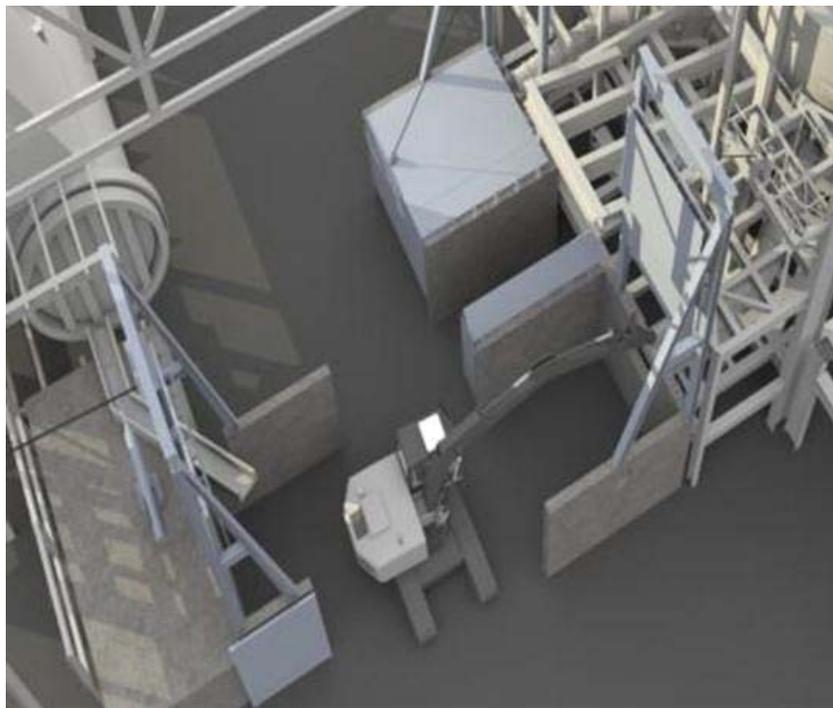


Figura 28 Maqueta Maquinaria Limpieza Alternativa N°2

3.3.1. Ventajas

- Permite acceso para maquinaria de limpieza de canaleta.
- Permite acceso PARCIAL de máquina de limpieza piso nave (cargador frontal).
- Mantiene taponeadora actual.
- No afecta sistema de transmisión CT.
- Simplifica diseño de tapas (no requiere realizar izaje, sólo apertura y cierre)

3.3.2. Desventajas

- Requiere modificación de canaleta. Se proyecta canaleta más larga que la actual.
- Restricción de puente grúa para realizar giro de olla al posicionar en cofre. Requiere plataforma de giro en piso. Eventual restricción en llenado de olla para evitar derrame de líquido.
- Incorporación de sistema con puerta móvil lado sur de cofre con accionamiento hidráulico, se mantiene muro norte fijo.
- Muro norte fijo, genera restricción en ingreso maquinaria limpieza por disminución de ancho pasillo (Nave queda dividida en dos para ingreso de maquinaria). Se debe ingresar por lado sur nave para limpieza CT lado escoria y cofre HE SUR. Para limpieza lado metal CT y cofre HE norte, se debe ingresar por costado norte HE frente CT.
- Demolición y reposicionamiento sala de Control.

3.4. Alternativa N°3

Construcción de semi-cofre de metal y muros de hormigón de apoyo para cofre. Mantiene taponadora actual. No modifica canaleta. Requiere sector para el almacenamiento de tránsito de tapas. Esta alternativa además requiere que se agregue más actividad al puente grúa.

La figura 29 y 30 muestran al cofre en la condición de abierto, sin la tapa metálica, y cerrado.

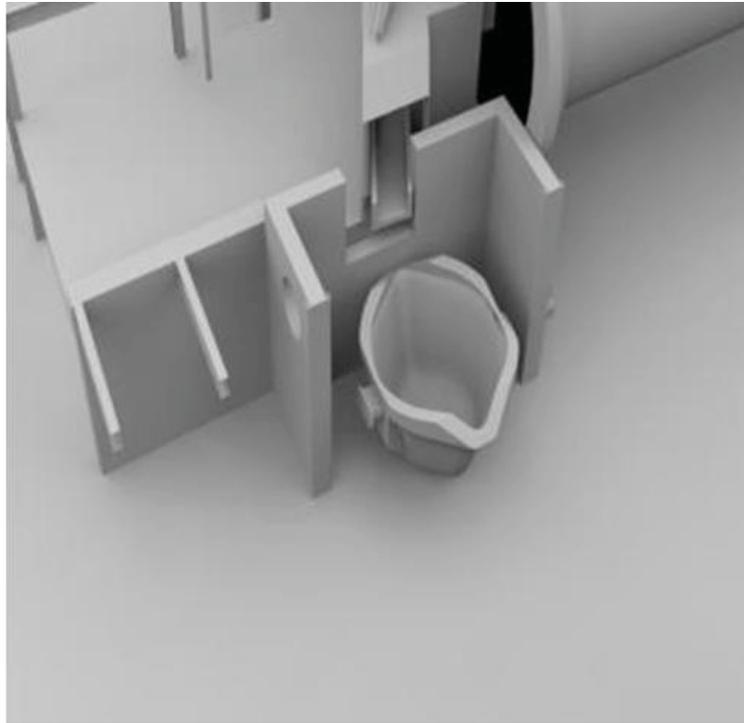


Figura 29 Maqueta Cofre Abierto Alternativa N°3

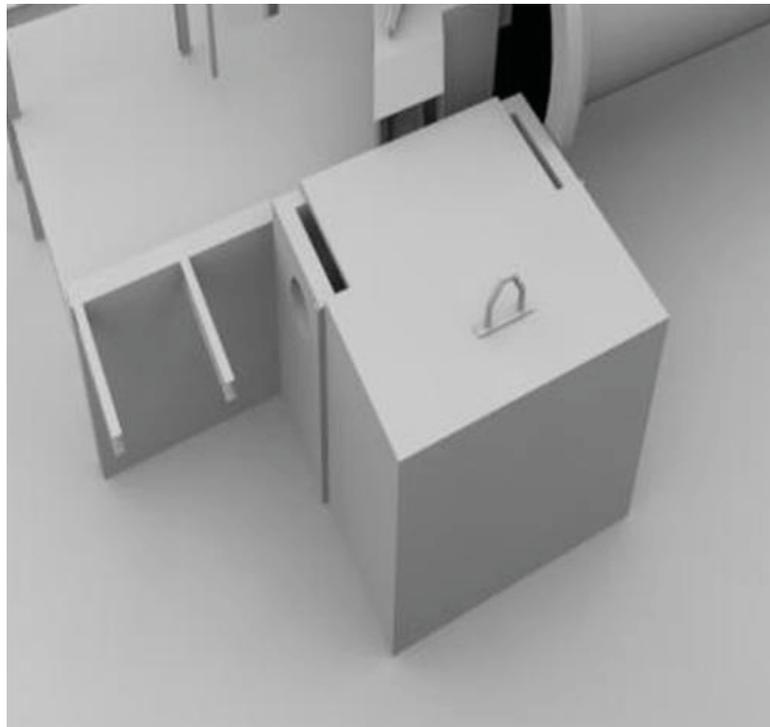


Figura 30 Maqueta Cofre Cerrado Alternativa N°3

3.4.1. Ventajas

- Permite acceso para maquinaria de para limpieza de canaleta.
- Permite acceso de máquina de limpieza piso nave (cargador frontal).
- No modifica canaleta actual.
- No afecta sistema de transmisión CT.
- Solución simple de ejecutar con bajo nivel de inversión respecto a las alternativas anteriores. Elimina sistemas de apertura de tapas e izaje y elimina sistemas motrices de apertura de puertas.
- Corto plazo de implementación.

3.4.2. Desventajas

- Requiere apoyo puente grúa para retiro y posicionamiento de semicofre móvil.
- Requiere sector de almacenamiento de semicofre móvil.
- Requiere realizar limpieza de acreciones a semicofre móvil.

Recomendación: Si bien la solución no requiere del retiro de la sala de control, se recomienda su demolición y reposicionamiento para facilitar visibilidad/maniobra del operador

3.5. Alternativa N°4

Construcción de una campana móvil giratoria, cuyo eje de rotación es el vertical. En la posición de operación, deberá posicionarse sobre la olla de transporte, y en la posición de espera o/ mantenimiento, deja espacio suficiente para la circulación de maquinaria para limpieza. No modifica canaleta actual. Mantiene taponeadora actual. Las figuras 31, 32 y 33 muestra las diferentes posiciones y condiciones de la campana giratoria.

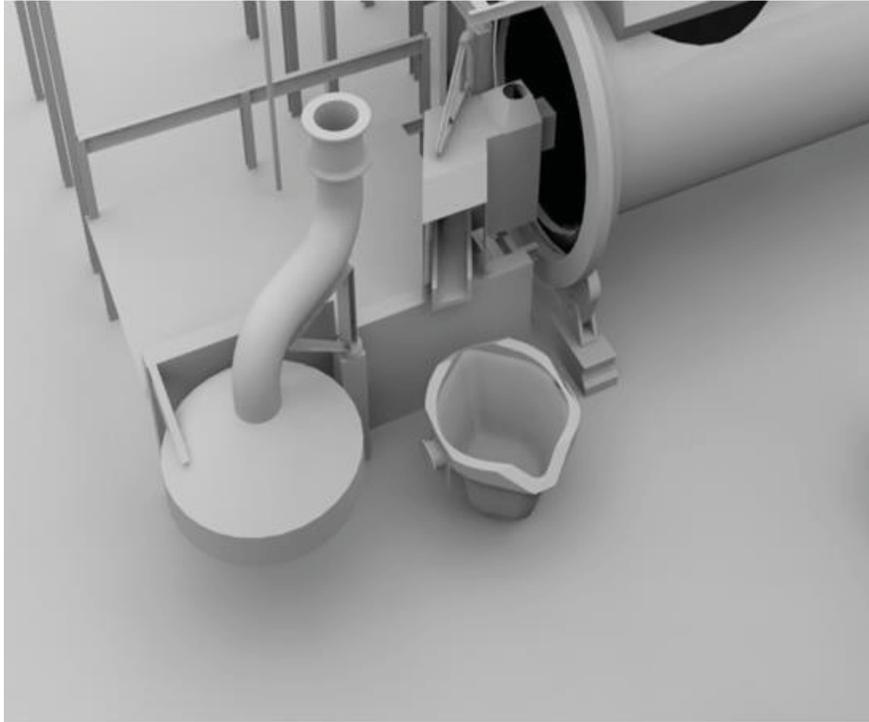


Figura 31 Maqueta Campana posición espera Alternativa N°4.

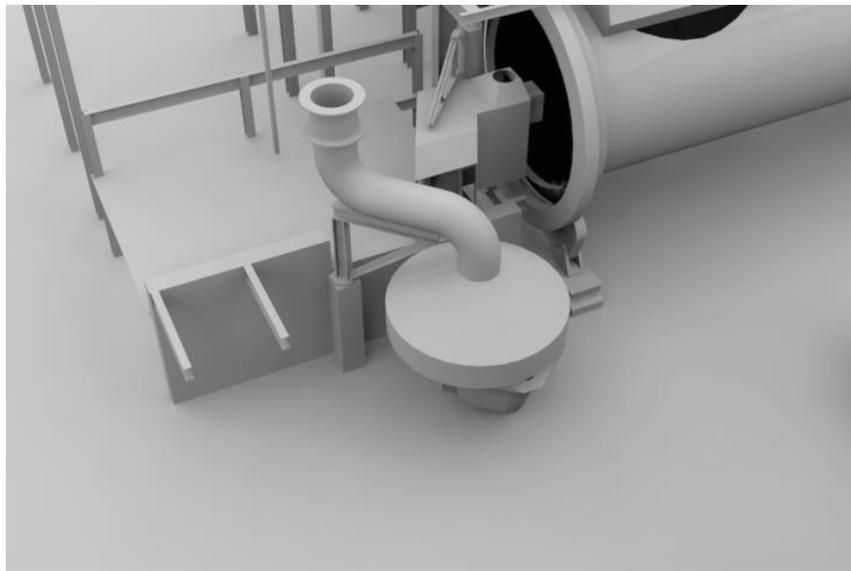


Figura 32 Maqueta Campana posición operación Alternativa N°4.

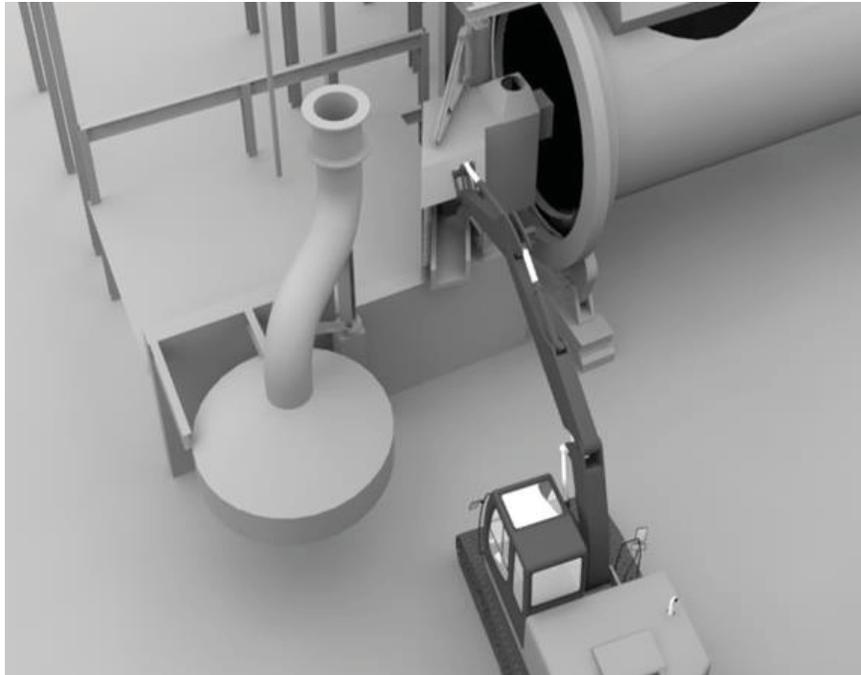


Figura 33 Maqueta Maquinaria limpieza en operación Alternativa N°4.

3.5.1. Ventajas

- Permite acceso a maquinaria de limpieza.
- Mantiene misma canaleta.
- Permite operación de taponeadora.
- No afecta sistema de transmisión CT.

3.5.2. Desventajas

- Captación de aire falso. Menor eficiencia en la captación de gases.
- Dificultad para realizar limpieza de acreciones campana. No ejecutar la limpieza, aumentaría el peso de la campana.
- Vulnerabilidad frente a golpes de ollas u otros equipos.

3.6. Alternativa N°5

Construcción de una campana móvil giratoria, cuyo eje de rotación es el horizontal. Mantiene taponeadora actual. Mantiene canaleta actual. Requiere demolición y reposicionamiento Sala de control ver figura 34 y 35



Figura 34. Maqueta Campana posición operación Alternativa N°5.



Figura 35. Maqueta Campana posición abierto Alternativa N°5.

3.6.1. Ventajas

- Permite acceso para maquinaria de limpieza de canaleta.
- Permite acceso de máquina de limpieza, piso nave (cargador frontal).
- No modifica canaleta actual.
- No afecta sistema de transmisión CT.

3.6.2. Desventajas

- Captación de aire falso.
- Dificultad para realizar limpieza de acreciones campana. Su no limpieza aumentaría el peso de la campana.
- Campana abatible se levanta y baja mediante huinche (hinche y cable siempre en tensión).
- Campana suspendida sobre plataforma de sangrado, con posible desprendimiento de acreciones. Afecta la seguridad de las personas al estar en esa condición.
- Vulnerabilidad del diseño ante golpes de ollas u otros.
- Demolición y reposicionamiento sala de Control.

3.7. Selección de Alternativa

Analizando las alternativas propuestas, se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

- Alternativa N°1 se presenta como diseño a optimizar bajo un escenario no restringido.
- Alternativa 1 y 2, existe restricción de puente grúa para realizar giro de ollas en forma autónoma, de modo que habría que incorporar un sistema complejo de plataforma de giro en piso, este sistema presenta vulnerabilidad en caso de falla de motor y mantenimiento. Existe además una eventual limitación de llenado de olla
- Alternativa N°3, es atractiva solución a optimizar dado su simpleza, presenta un menor nivel de inversión y menor plazo de implementación respecto a las alternativas estudiadas, pero requerirá de una alta demanda del puente grúa.
- Alternativa 5, presenta problemas de seguridad, al tener carga suspendida sobre operador de taponeadora. Eventualmente caídas de acreciones
- La no liberación de restricciones en el diseño con cofre, implica que la mejor alternativa a desarrollar es la campana, por tanto, se descarta soluciones asociadas a cofres.
- Se selecciona desarrollar alternativa asociada a campanas. Se opta por campana de pivote vertical, por no presentar inconvenientes en acceso de maquinarias de limpieza y permite un mayor acercamiento de la campana a la olla.

3.7.1. Tabla Resumen

3.7.1.1. Criterios de aceptación

A continuación, se presenta en la tabla 4, los resultados que presentaron las alternativas propuestas. La clasificación se realizó en base a Cumple/No Cumple el criterio de aceptación definido.

Criterio de Aceptación (Cumple / No Cumple)	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4	Alternativa N°5
Seguridad para las personas	x	✓	✓	✓	x
Acceso Maquinaria de Limpieza	✓	x	✓	✓	✓
Permite Operación Taponeadora	✓	✓	✓	✓	✓
Evita exposición de operador a canala	✓	x	✓	✓	✓
Sin restricción/Interferencia Sistema. Motriz CT	✓	✓	✓	✓	✓
No requiere modificaciones mayores	x	✓	✓	✓	✓
Minimizar impactos en la operación y Mant.	x	x	x	✓	✓
Cumple / No cumple	x	x	x	✓	x
Cumple ✓ No Cumple x					

Tabla 4 Evaluación de Alternativas

CAPITULO IV

4. DESARROLLO DE ALTERNATIVA CONCEPTUAL SELECCIONADA

La campana rotatoria, ha sido la idea conceptual que se desarrollará para la implementación. Deberemos ver y analizar interferencias operacionales, estructurales o de mantenimiento de la campana a proyectar.

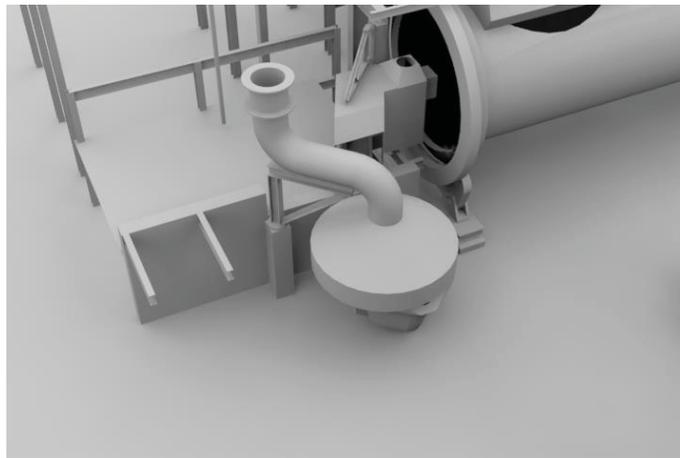


Figura 36. Diseño Campana Proyectada en posición de Operación.

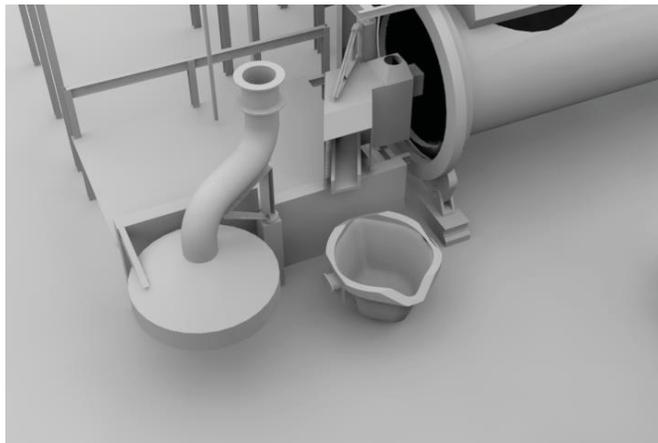


Figura 37. Diseño Campana Proyectada en posición de Espera.

El proyecto considera el diseño del sistema de la campana la cual tendrá un movimiento de rotación que permita desplazar la campana para asegurar el paso de maquinaria para fines de

mantenimientos y limpieza de la canaleta de escoria, además de un desplazamiento vertical para poder regular la distancia entre la campana y la olla de transporte de material fundido.

El objetivo es presentar las opciones factibles para el diseño del sistema de soportación de la campana y la ductería de transporte de gases, mostrando ventajas y desventajas de las distintas opciones.

4.1. Situación actual

Actualmente el lado de la sangría de escoria y la olla de transporte de escoria del Convertidor Teniente, no cuenta con un sistema de captación de gases, dado lo anterior y para poder cumplir con los compromisos medioambientales y con la comunidad, es que se desarrollará un sistema de captación de gases por medio de campana rotatoria vertical, la cual como idea conceptual fue seleccionada en el capítulo anterior.

Del proyecto “Captación gases Sangría horno eléctrico y convertidor Teniente”, ya implementado, consideraba como datos de diseño la captación para la escoria del CT un flujo de gases de 90.000 Am³/h, ver Tabla 5 para gases con las características mencionadas en la Tabla 6.

Equipo	Tipo de Sangría	Flujo de gases diluidos		
		Piquera [Am ³ /h]	Olla [Am ³ /h]	Total [Am ³ /h]
Convertidor Teniente	Metal Blanco	25.563	64.437	90.000
	Escoria	25.714	64.286	90.000
Horno Eléctrico	Metal Blanco Norte	30.000	60.000	90.000
	Metal Blanco Sur	30.000	60.000	90.000

Tabla 5 Flujo de gases diluidos

GASES DE ESCORIA CT								
DESCRIPCION	UNIDAD	CABINA OLLA ESCORIA			PIQUERA Y CANALETA ESCORIA CT			TOTAL ESC CT
		Gases Fugitivos Generados en Olla Escoria CT	Aire de Dilución	Total Gases Diluidos de Cabina Olla Escoria CT	Gases Fugitivos Generados en Piquera y Canaleta Escoria CT	Aire de Dilución	Total Gases Diluidos Piquera y Canaleta Escoria CT	Total Extracción Gases Diluidos Escoria CT
		8	9	10	11	12	13	14
Flujo de Diseño	Nm ³ /h	2.000	51.351	53.351	800	20.556	21.356	74.707
Flujo de Diseño	Am ³ /h	7.128	56.054	64.286	2.851	22.438	25.714	90.000
Temperatura	°C	700	25	56	700	25	56	56
Dilución Gas Fugitivo	%	-	-	2.568	-	-	2.569	2.568
Presión Atmosférica	kPa	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3
O ₂	%Vol	19,5	20,7	20,6	19,5	20,7	20,6	20,6
H ₂ O	%Vol	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
N ₂	%Vol	78,0	77,8	77,8	78,0	77,8	77,8	77,8
SO ₂	%Vol	1,0		0,113	1,0		0,113	0,1
As ₄ O ₆	%Vol	0,050		0,006	0,050		0,006	0,0
S (Total)	g/Nm ³	14,3		1,6	14,3		1,6	1,6
As (Total)	g/Nm ³	6,7		0,8	6,7		0,8	0,8
Polvo (Total)	g/Nm ³	5,0		0,6	5,0		0,6	0,6

Tabla 6. Características gases sangría Escoria Convertidor Teniente

El tamaño de la campana definido para la captura de los gases y en función de los tamaños de las ollas de transporte, tiene un diámetro máximo proyectado de 4350 mm y una altura de 1900 mm de altura, ver Figura 38 y 39. Las dimensiones fueron definidas en base a los tamaños de las ollas de transporte y los espacios disponibles en terreno. Además, se consideró lo definido en proyectos anteriores en relación a la velocidad del gas en los ductos, el que debe estar cerca de los 20 m/s, con esto se evita sedimentación e incrustaciones de material particulado en la ductería. Mientras que una velocidad mayor aumenta la erosión producto del material particulado presente en los gases diluidos, además de aumentos de pérdidas de carga por fricción, de ahí que, para la correcta estimación del diámetro de los ductos, se mantuvo la velocidad como parámetro de diseño. Con lo anterior y considerando una velocidad de extracción de 1.2 m/s (a la entrada de la campana), según las definiciones anteriores se tiene que:

Caudal está definido según:

$$\dot{Q} = v * A_t$$

Ec 1

Donde:

\dot{Q} caudal en (m³/s)

v velocidad en (m/s)

A_t área transversal de la sección en (m)

Por tanto, considerando el caudal de la tabla 6, referente al actual flujo de diseño de la campana de escoria, se tiene reemplazando en Ec 1:

$$64.286 = 1.2 * A_t$$

Resolviendo, se obtiene $A_t = 11,8 \text{ m}^2$.

Teniendo el área y utilizando la ecuación $A = \frac{\pi * D^2}{4}$, se obtiene que el diámetro de la campana es $\varnothing = 4,34 \text{ m}$, lo que satisface la definición en base a los espacios disponibles.

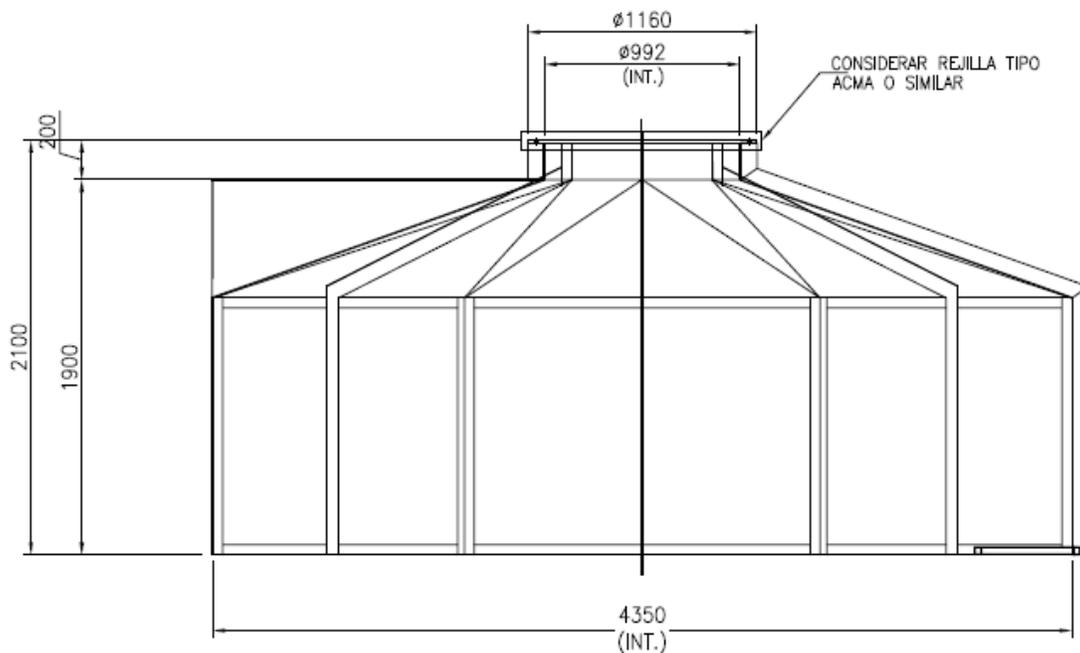


Figura 38. Elevación Campana Proyectada.

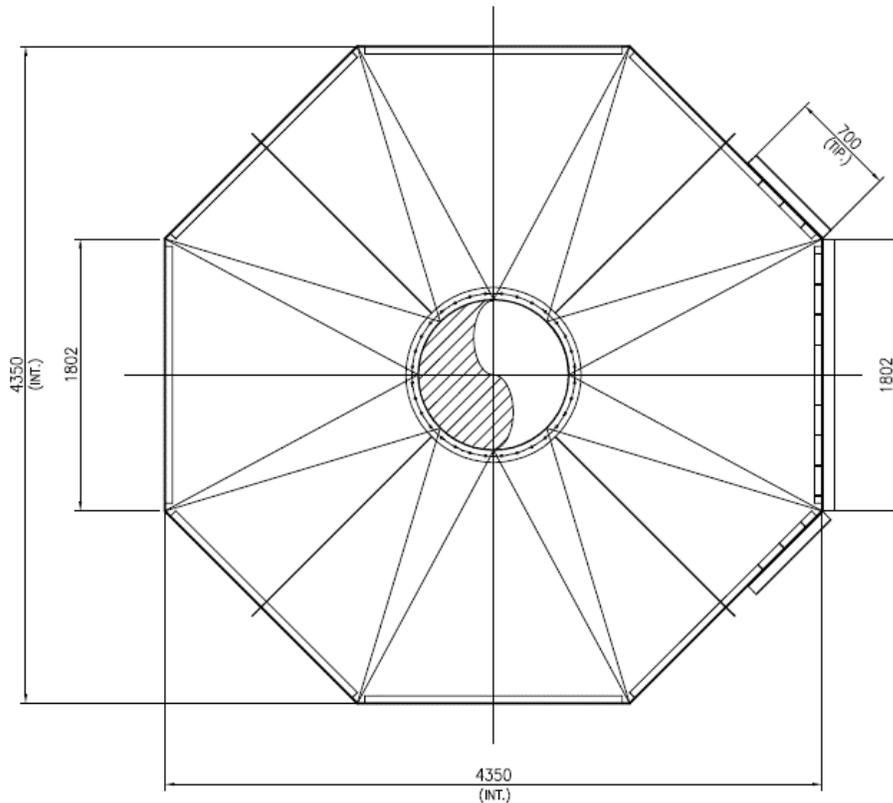


Figura 39. Planta Campana Proyectada

4.2. Desarrollo de alternativas para la implementación

De acuerdo a la alternativa seleccionada, se requiere la realización de un sistema de campana rotatoria la cual permita el giro horizontal de la campana, además se requiere que la campana pueda realizar un movimiento vertical para poder realizar ajustes entre la distancia de captación de la campana y la olla, con esto se logrará regular la captación de gases fugitivos y gases de infiltración de la campana.

Para cumplir con los requerimientos se analizarán 3 alternativas, las cuales incorporarán los siguientes equipos:

- Sistemas de rotación: El sistema de rotación será diseñado considerando una junta rotativa como la que se muestra en la figura 40, la que permitirá el libre giro axial de la ductería.



Figura 40. Junta rotacional.

Para la generación del movimiento rotacional se contempla la utilización de un sistema motriz mediante un motor eléctrico junto a un sistema piñón corona similar a los utilizados en brazos pescantes con movimiento radial existentes en el mercado ver Figura 41 y 42.



Figura 41. Sistema rotacional



Figura 42 Sistema Piñon Corona

- Sistema de expansión: El sistema de expansión será diseñado considerando la incorporación de un sistema de junta de expansión. Dentro de las alternativas de juntas de expansión a utilizar existen varios tipos, dentro de las cuales destacan las Juntas de expansión universal, juntas de laberinto y las juntas de expansión de tela. Para nuestro sistema se descarta las juntas de expansión universales debido a que poseen poco desplazamiento axial en comparación con las juntas de tela que permiten un mayor desplazamiento axial (ver Figura 43.)

Para la generación del movimiento de izaje se contempla la utilización de un sistema Oleo hidráulico compuesto por cuatro cilindros de doble efecto comandados por una central hidráulica.



Figura 43 Junta Expansión.

Las alternativas analizadas en este punto contemplan la combinación de los sistemas antes mencionados optimizando las dimensiones y su factibilidad constructiva y operacional. Las tres alternativas analizadas se resumen a continuación:

- Alternativa 1: Giro y expansión conjunta.
- Alternativa 2: Giro independiente y expansión independiente en campana.
- Alternativa 3: Giro independiente y expansión independiente en compuerta deslizante.

4.2.1. Alternativa 1

Esta alternativa analiza la construcción de un Brazo pivote de soportación el cual permita la soportación del ducto (ver Figura 44), Esta alternativa contempla que tanto el movimiento radial como el de izaje debe ser realizado por el brazo pivotante, para esto se utiliza una junta rotacional y de expansión conjunta además de un sistema motriz eléctrico para el movimiento rotacional y un sistema Oleo hidráulico para producir el ajuste de la campana con la olla de emanación de gases, este ajuste se realizará en la parte interior del brazo pivote.

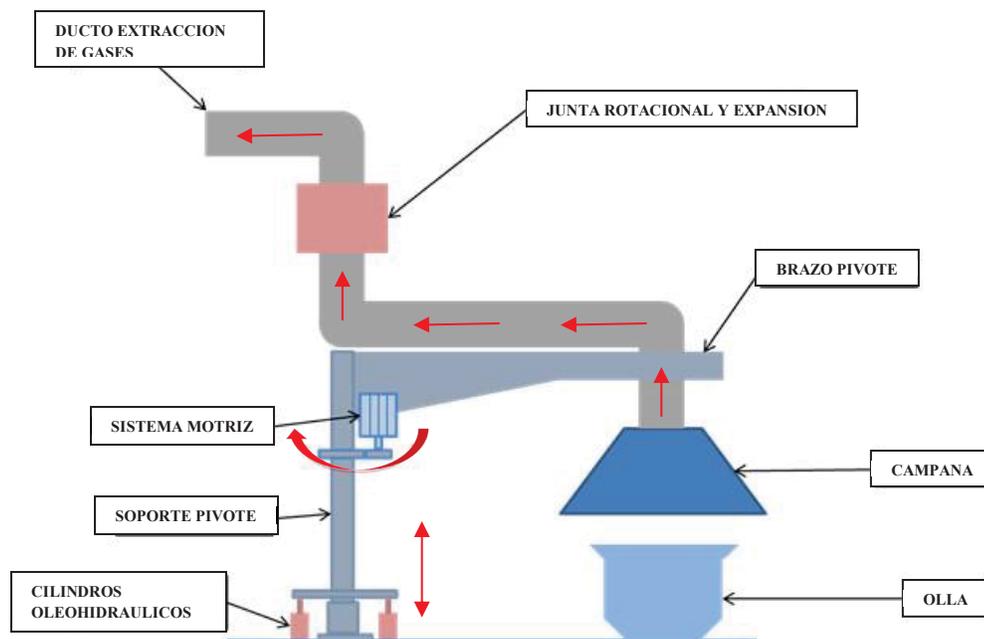


Figura 44 Esquema Alternativa N°1

Para el desarrollo de esta etapa se requerirán de los siguientes componentes principales:

- Brazo Pivote: Estructura diseñada para dar apoyo al ducto y la campana, la cual se considera soportada a piso por una fundación, además esta estructura contara en su base con un sistema de izaje accionado por el sistema oleo hidráulico
- Junta rotacional y expansión: Para esta alternativa se considera un solo elemento que pueda realizar los movimientos rotacionales y de expansión del ducto, cabe destacar que este equipo no corresponde a un equipo estándar y debe ser diseñado por completo en maestranza.
- Sistema rotacional: Para la generación del movimiento rotacional se considerará un motor eléctrico que transmitirá el movimiento por medio de un sistema Piñón-Corona el cual es similar para todas las alternativas (ver Figura 45).



Figura 45 Pescante giratorio

- Sistema Oleo hidráulico: Para el movimiento de izaje del pivote se considera un sistema Oleo hidráulico compuesto de cuatro cilindros, este sistema contempla el diseño de la central hidráulica además de todo el sistema de válvulas y conexiones necesarias para la realización del desplazamiento.

4.2.2. Alternativa 2

Esta alternativa analiza la independencia entre el movimiento rotacional y el movimiento de izaje utilizando una junta rotacional para el giro de la campana y una junta independiente de expansión que solo absorberá el desplazamiento de la campana de captación (ver Figura 46). Esto permite tener un sistema oleo hidráulico de menores dimensiones.

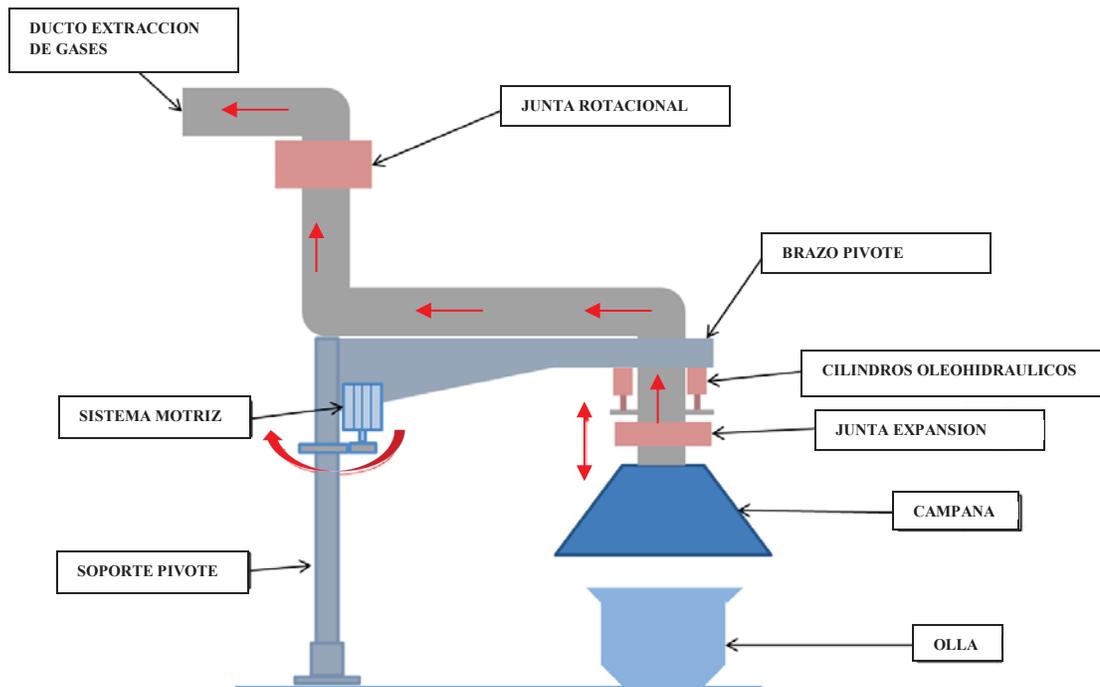


Figura 46 Esquema Alternativa N°2

Para el desarrollo de esta etapa se requerirán de los siguientes componentes principales:

- Brazo Pivote: Estructura diseñada para dar apoyo al ducto y la campana, la cual se considera soportada a piso por una fundación.

- Junta rotacional: Para esta alternativa se considera una junta rotacional independiente que solo permitirá el giro del ducto.
- Junta expansión: Para esta alternativa se considera una junta de expansión independiente, la que permitirá absorber el desplazamiento requerido para el ajuste de la campana con la olla.
- Sistema rotacional: Para la generación del movimiento rotacional se considerará un motor eléctrico que transmitirá el movimiento por medio de un sistema Piñón-Corona el cual es similar para todas las alternativas, ver Figura 45
- Sistema oleo hidráulico: Para el movimiento de izaje del pivote se considera un sistema oleo hidráulico compuesto de cuatro cilindros, Este sistema será instalado en el extremo del brazo Pivote lo que permitirá disminuir los tamaños tanto de los cilindros como de la central hidráulica producto de la disminución de pesos a levantar en comparación con la primera alternativa.

4.2.3. Alternativa 3

Esta alternativa contempla la independencia entre el movimiento rotacional y el movimiento de izaje utilizando una junta rotacional para el giro de la campana, mientras que para el izaje de la campana se considera la utilización de faldones deslizantes que permita realizar el ajuste entre la campana y la olla, con ello se podrá realizar ajuste para mejorar la eficiencia de captación de gases, además de reducir dimensiones de los equipos del sistema Oleohidraulico (ver Figura 47).

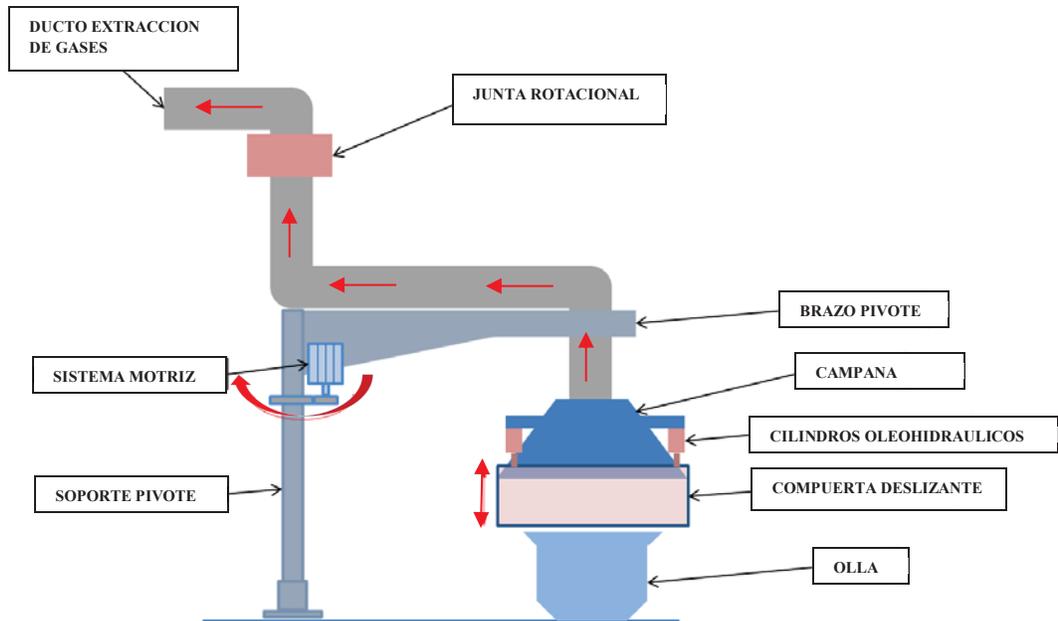


Figura 47 Esquema Alternativa 3

Para el desarrollo de esta etapa se requerirán de los siguientes componentes principales:

- Brazo Pivote: Estructura diseñada para dar apoyo al ducto y la campana, la cual se considera soportada a piso por una fundación.
- Junta rotacional: Para esta alternativa se considera una junta rotacional independiente similar a la descrita para la alternativa 2.
- Sistema rotacional: Para la generación del movimiento rotacional se considerará un motor eléctrico que transmitirá el movimiento por medio de un sistema Piñón-Corona el cual es similar para todas las alternativas, ver Figura 45.
- Sistema oleo hidráulico: Para el movimiento de izaje de la maga deslizante se considera un sistema oleo hidráulico compuesto de cuatro cilindros, Este sistema será instalada en la campana y permite deslizar una estructura tubular con faldones deslizantes.

- Manga deslizante: Esta realizará el ajuste entre la campana y la olla permitiendo disminuir la distancia entre la olla y la campana pudiendo aumentar la eficiencia de captación de gases fugitivos.

4.3. Análisis de constructibilidad de alternativas

Para la toma de decisión de la alternativa a utilizar se analizarán los siguientes 5 puntos:

- Análisis dimensional de equipos Principales.
- Operaciones
- Factibilidad Constructiva.
- Mantenimiento.
- Confiabilidad.

Los cuales se detallan a continuación.

4.3.1. Análisis Dimensional de Equipos Principales.

Para el diseño de las alternativas se consideraron las características geométricas definidas en visita a terreno, las cuales se presentan en la Figura 48

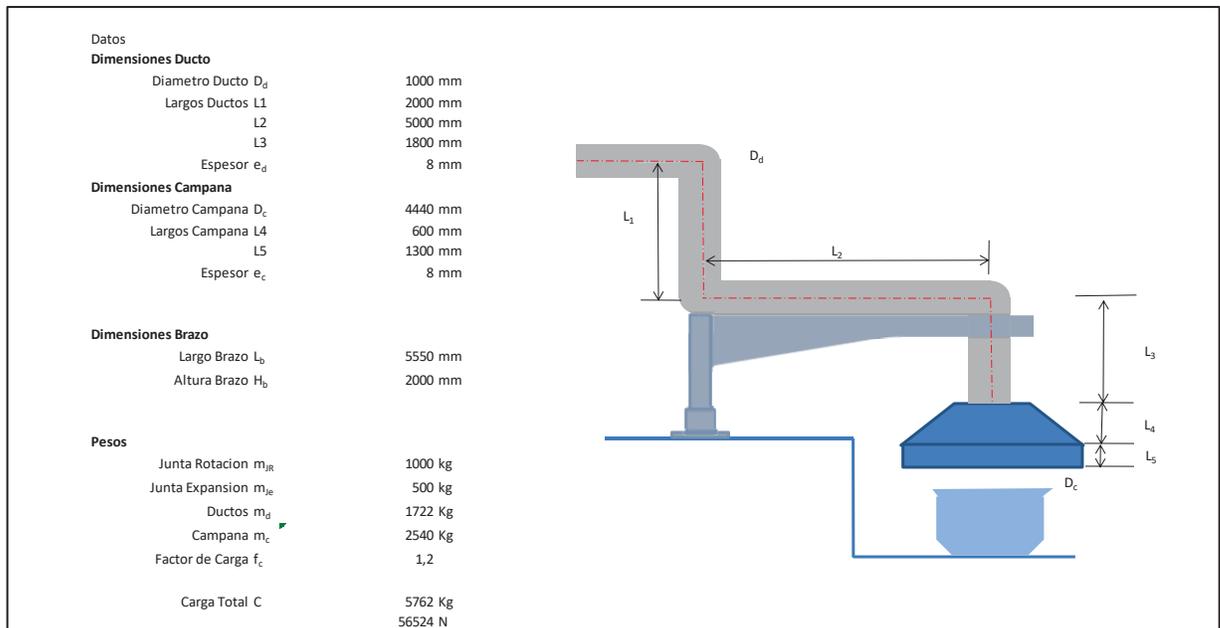


Figura 48 Dimensiones y pesos Campana

Con estas dimensiones y pesos se realizó un dimensionamiento previo de todos los sistemas mecánicos mencionados en el punto 4.2 para cada una de las alternativas considerando las siguientes características de operación:

Angulo de Giro: Se requiere que la campana rote en 180° , considerando su posición de operación hasta la posición de Espera o Mantenimiento. Esta condición es requerida para todas las alternativas.

Tiempo de giro: Este tiempo es el que deberá demorar la campana entre un punto y otro, se define con ese valor según requerimiento de operaciones. Esta condición aplica para las 3 alternativas.

Peso Sistema Rotacional: Es el peso de los componentes del sistema rotacional se ha determinado como se explica a continuación:

Los componentes que configuran el sistema de rotación son los siguientes

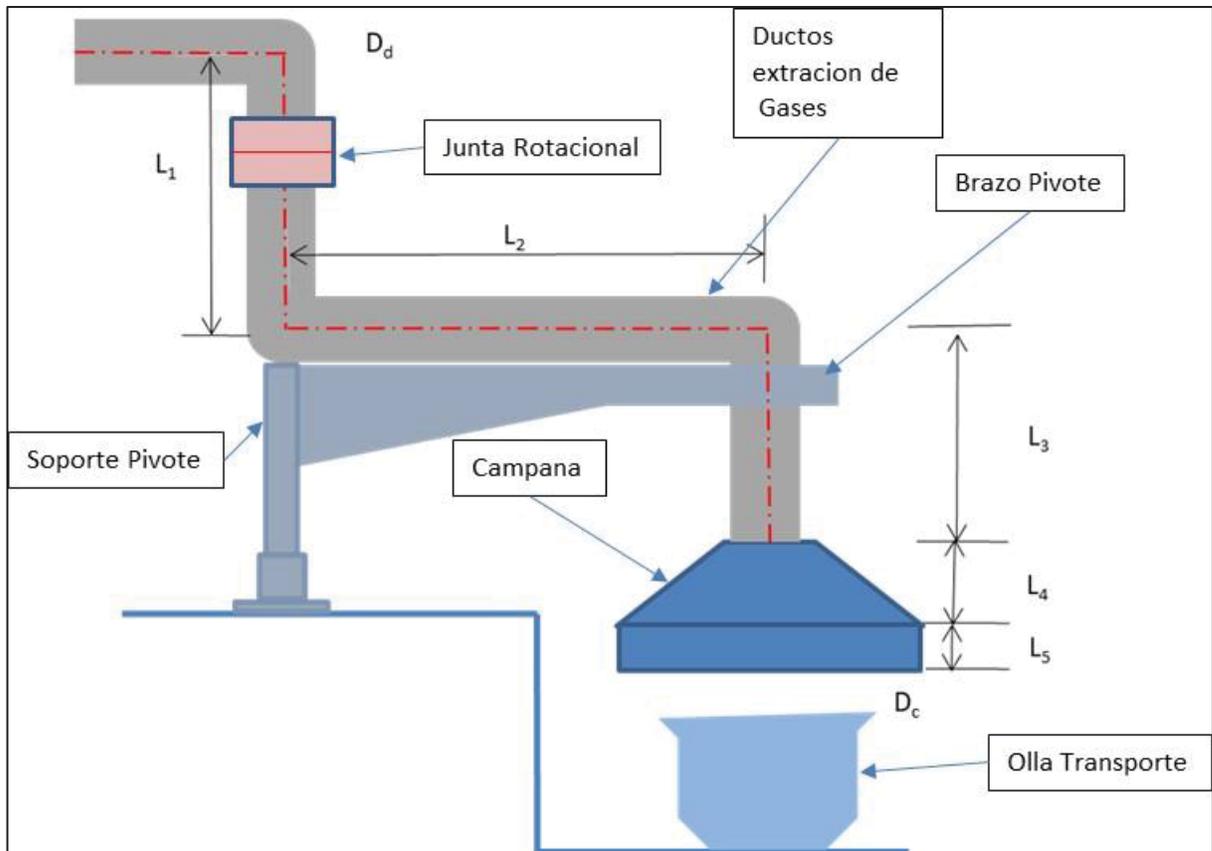


Figura 49 Componentes principales sistema campana rotacional

Para el cálculo de los pesos de cada componente, se consideró un peso específico del acero de $\gamma = 7.850 \frac{kg}{m^3}$, y un factor de carga de 1,2. Este factor se determinó en base a la experiencia y consideraciones de normativa corporativa en los diseños de ingeniería.

A partir del volumen de acero de cada elemento, se puede obtener los pesos proyectados. A continuación, se describirá la obtención de los valores para cada componente.

Soporte Pivote:

Se considero un tubo de diámetro 700 mm de diámetro y un espesor de pared 20 mm. La altura es de 2.000 mm. Con la siguiente expresión se obtiene el volumen del tubo

$$V = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * l \tag{Ec 2}$$

Al reemplazar los valores conocidos en la ecuación, nos da un resultado de $0,0854513 \text{ m}^3$ de acero y al multiplicarlo por su peso específico, nos resulta 670,8 kg.

Junta Rotacional: El peso de este elemento se obtuvo según datos de proveedor fábrica (1.000 kg)

Junta de Expansión: El peso de este elemento se obtuvo según datos de proveedor fábrica (500 kg)

Ductos: Este componente se proyectó calculando el volumen total de la línea de ductos

Diámetro 1.000 mm

Espesor 8 mm

Largo $L_1 + L_2 + L_3 = 8.800$ mm

Peso Ductos = 1.722 (kg)

Brazo Pivote: Este componente se considera 2 vigas IN 40 x 80,1 cuyo peso por metro lineal es de 102 kg/m (valor de catálogo), y largo L_b es de 5.550 mm. Por tanto, se tiene un peso de 1.132 kg.

Peso de Sistema Rotacional: Es el peso de los componentes que estarán incluidos en la parte que se moverá en la línea vertical. La Tabla 7 muestra el detalle de cada alternativa.

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Soporte Pivote (kg)	671		
Junta Rotacion (kg)	1.000	1.000	1.000
Junta Expansion (kg)	500	500	500
Ductos (kg)	1.722	1.722	1.722
Campana (kg)	2.540	2.540	2.540
Brazo Pivote (kg)	1.132	1.132	1.132
Faldones (kg)			
Fc	1,2	1,2	1,2
Total Peso Sistema Rotación	9.078	8.273	8.273

Tabla 7 Pesos proyectados de componentes Sistema Rotacional

El peso proyectado del componente campana se determinó calculando la superficie y luego determinando su volumen, dado el espesor de la plancha de acero de 8mm. Primero se calculó la parte cónica de la campana y luego la parte cilíndrica inferior.

$$Peso\ Total_{campana} = peso\ parte\ conica + peso\ parte\ cilindrica$$

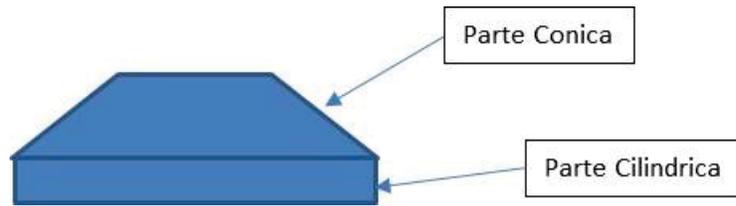


Figura 50 Manto de Campana

Parte Cónica

Para determinar el área del manto de la campana se aplicaron las siguientes ecuaciones matemáticas. Donde en la figura 51 se representa en forma esquemática la parte cónica de la campana

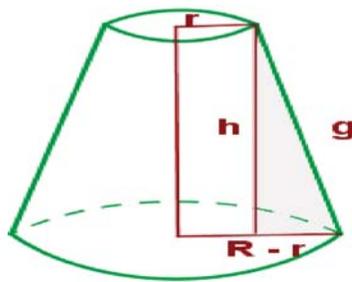


Figura 51 Esquema Cono truncado

$$A_{lateral} = \pi * (R + r) * g \quad \text{Ec 3}$$

$$g = \sqrt{h^2 + (R - r)^2} \quad \text{Ec 4}$$

Donde

R : radio de la base de la campana.

r : radio de la parte superior de la campana.

g : generatriz de cono truncado.

Reemplazando nos queda lo siguiente

$$A_{lateral} = \pi * (2,22 + 0,5) * g$$

$$g = \sqrt{0,6^2 + (2,22 - 0,5)^2} = 1,82164 (m)$$

$$A_{lateral} = \pi * (2,22 + 0,5) * 1,82164 = 15,566 (m^2)$$

$$V = Area * espesor (m^3)$$

$$V = 15,56 * 0,008 = 0,12453 (m^3)$$

$$Peso = Vol * \gamma$$

$$Peso = 0,12453 * 7.850 = 977,56 (kg)$$

Parte Cilíndrica

Para determinar el área de la parte cilíndrica de la campana se aplicaron las siguientes ecuaciones matemáticas. Donde en la figura 52 se representa en forma esquemática la parte cilíndrica de la campana.

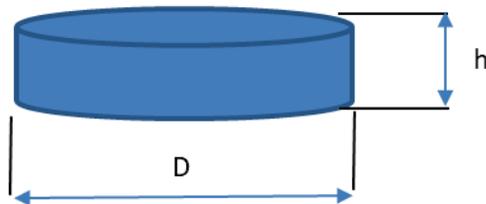


Figura 52 Manto Cilíndrico

$$A_{lateral} = \pi * D * h$$

$$A_{lateral} = \pi * 4,44 * 1,3 = 18,1333 (m^2)$$

$$V = Area * espesor (m^3)$$

$$V = 18,1333 * 0,008 = 0,145 (m^3)$$

$$Peso = Vol * \gamma$$

$$Peso = 0,145 * 7.850 = 1138,77 (kg)$$

Por lo tanto, el peso total de la campana es:

$$Peso Total_{campana} = peso parte conica + peso parte cilindrica$$

$$Peso Total_{campana} = 983,61 + 1.138,77 = 2.116,33 (kg)$$

Pero hemos considerado un factor de carga de 1,2, por tanto el valor proyectado es de $\cong 2.540$ (kg)

Peso de Levante: Es el peso de los componentes que estarán incluidos en la parte que rotara. La tabla 8 muestra el detalle de cada alternativa.

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Soporte Pivote (kg)	671		-
Junta Rotacion (kg)	1.000		
Junta Expansion (kg)	500		
Ductos (kg)	1.722	574	
Campana (kg)	2.540	2.540	
Brazo Pivote (kg)	1.132		-
Faldones (kg)			1.500
Fc	1,2	1,2	1,2
Total Peso Levante	9.078	3.736	1.800

Tabla 8 Pesos proyectados de componentes Sistema Levante

La tabla 9 muestra un resumen con los resultados de las proyecciones para todas las alternativas de los ítems indicados anteriormente.

Items	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Angulo de giro Campana	°	180	180	180
Tiempo de giro	seg	30	30	30
Peso de Sistema Rotacional	Kg	9.078	8.273	8.273
Peso de Levante	Kg	9.078	3.736	1.800

Tabla 9 Características de Operación.

El dimensionamiento de los equipos se resume en los siguientes puntos:

Cabe hacer notar que se realizarán los cálculos paso a paso para la alternativa 1, este procedimiento se hace extensivo a las alternativas restantes.

- Verificación de Poste Pivote:

Se ha definido un Poste Pivote consistente en un tubo de 700 mm de diámetro y un espesor de pared 20 mm.y cuya altura es de 2.000 mm. Además, se considera que será de material acero ASTM A36, cuyas propiedades mecánicas se observan en la tabla 10.

Propiedades Mecánicas				
Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción		Elongación
(Kg/mm ²)	MPa	(Kg/mm ²)	MPa	%
25,5 (mín)	250 (mín.)	40,8 (mín)	400 (mín)	20 (mín)

Tabla 10 Propiedades mecánicas Acero ASTM A36

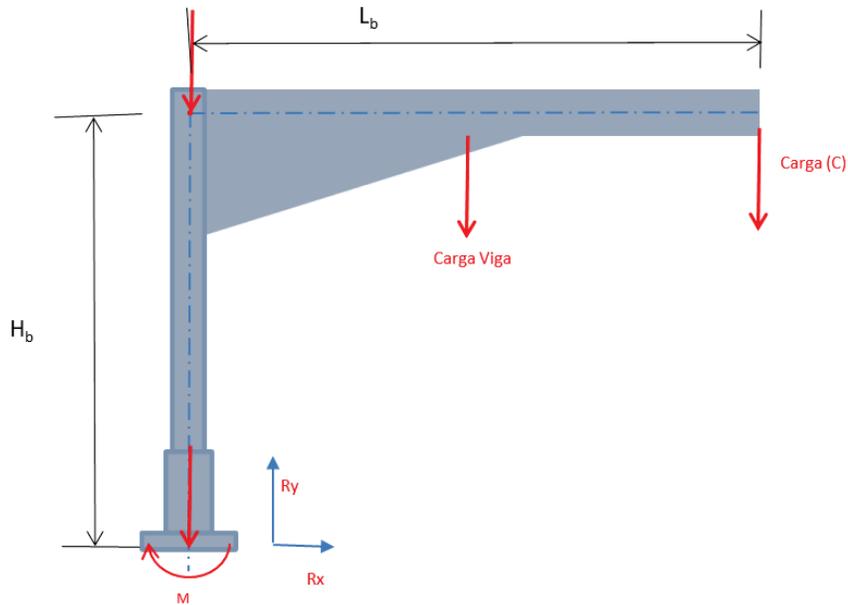


Figura 53 Diagrama Cuerpo Libre

De la figura 53 ya se tienen los valores de las cotas H_b y L_b , los que se pueden obtener de la figura 48, los que son:

$$H_b = 2.000 \text{ mm}$$

$$L_b = 5.550 \text{ mm}$$

Además, en la misma tabla 8 se tiene el valor de $Carga_{(C)}$, el cual su valor representa la suma de los pesos tanto, de la campana, ductos, junta expansión y junta rotatoria.

La consideración para el brazo pivote es: dos vigas IN 40x80,1, las características de la viga se pueden ver en el anexo 1.

Se considera una aceleración de gravedad de $9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

$$Carga_{(C)} = 5.762 \text{ kg} \rightarrow 56.525 \text{ N}$$

para obtener los momentos flectores se tiene lo siguiente:

$$\sum F_x = 0 \quad \text{sumatoria de fuerzas en x igual a cero, pero no existen fuerzas en eje x}$$

$\sum F_y = 0$ sumatoria de fuerzas en y igual a cero.

$\sum M = 0$ sumatoria de momentos igual a cero.

Para determinar las fuerzas en eje y debemos considerar la Carga_(C) más la carga de las vigas que componen el brazo pivote y que ya fue calculado en la table 8.

Por tanto, tendremos que la fuerza en Ry,

$$Fuerza Ry = Carga_c + carga viga$$

$$Fuerza Ry = 5.762 + 1.132 = 6.894 kg \rightarrow 67.630 N$$

Para determinar el momento flector, hacemos que

$$\sum M = 0 \rightarrow 56.525N * 5,55 m + 11.105N * 2,775m = 344.530 Nm$$

Para determinar el esfuerzo tenemos que:

$$\sigma = \frac{M * c}{I} = \frac{M}{Z} \text{ donde } Z = \frac{I}{c} \quad \text{Ec 6}$$

σ esfuerzo en Mpa

M momento flector en Nm

C distancia a la fibra neutra de la sección en m

I inercia en m^4

Momento de inercia polar de una seccion circular es como se muestra en la figura 54,

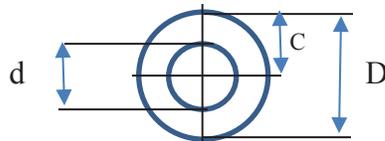


Figura 54 Sección Circular Poste Pivote

$$I = \pi * \frac{(D^4 - d^4)}{64} \quad \text{Ec 7}$$

Reemplazando en la Ec 7 se obtiene que $I = 0,0024716 m^4$

El valor c es 0,35 m

Con los valores obtenidos y reemplazando en Ec 6 tenemos,

$$\sigma = \frac{344.530 * 0,35}{0,0024716} = 49 \text{ MPa}$$

Verificando que el esfuerzo admisible es aproximadamente el 60% del esfuerzo de fluencia, nos queda que,

$\sigma_{Adm} = 250 * 0,6 = 150 \text{ MPa}$ por tanto, el factor de utilización es $49/150 \rightarrow 32,6\%$, lo que valida nuestra consideración en relación al poste pivote.

Verificación de Brazo Pivote:

Para verificar el brazo pivote utilizaremos las mismas expresiones ya consideradas en el caso del poste pivote, lo que se cambiará es la sección a analizar,

Con la información rescatada de tabla, la que se muestra en anexo 1, se obtienen los siguientes valores

$$Z = 1.600 \text{ cm}^3 = 0,0016 \text{ m}^3$$

$$c = \frac{400}{2} = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

ahora al reemplazar en la Ec 6 tenemos que,

$$\sigma = \frac{344.530}{2 * 0,0016} = 107 \text{ MPa}$$

Verificando que el esfuerzo admisible es aproximadamente el 60% del esfuerzo a la fluencia, nos queda que,

$\sigma_{Adm} = 250 * 0,6 = 150 \text{ MPa}$ por tanto, el factor de utilización es $107/150 \rightarrow 71,3\%$, lo que valida nuestra consideración en relación al brazo pivote.

▪ Central Oleo hidráulica:

Para el dimensionamiento de la central oleo hidráulica se consideró un desplazamiento de 400 mm de los cilindros que moverán la campana en forma vertical, además de una presión oleo hidráulica en el sistema de 500 PSI, con ello se requiere las siguientes características para cada una de las alternativas.

Cantidad de Cilindros: Como condición se definió la cantidad de 4 cilindros ole hidráulicos para todas las alternativas.

Diámetro de los Cilindros: Para determinar el diámetro del cilindro se considera la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_N}{\pi \cdot p}} \quad \text{Ec 8}$$

Donde:

D : Diámetro de cilindro, en mm.

P : Presión de trabajo de Pistón, en Pa.

FN : Fuerza necesaria para mover la campana, en N.

y FN se determina con los pesos de levante de la tabla 8 de cada alternativa considerando la expresión:

$$P = \frac{F_N}{A} \quad \text{Ec 9}$$

Donde:

F_N : Fuerza Necesaria, en N.

A : Área del cilindro, en m².

P : Presión de trabajo, en Pa.

Con las expresiones mostradas tenemos para la alternativa 1 lo siguiente:

F_N 9.078 kg → 88.964,4 N, pero solo necesitamos calcular para 1 cilindro, por tanto, consideraremos la cuarta parte.

P 500 PSI → 3.447.378,64 Pa

Reemplazando en Ec 8, F_N nos queda que $D = 0,0906 \text{ m} \rightarrow 90,6 \text{ mm}$

Con el resultado obtenido, se ingresa al catálogo de cilindros que se encuentra en el anexo 2, donde se selecciona el cilindro de diámetro de 100 mm.

Carrera: La carrera es el desplazamiento de los cilindros, el que permitirá acercarse o alejarse la campana de la olla de transporte. Esta se definió en 400 mm para todas las alternativas.

Potencia de Bomba: La potencia de la bomba necesaria para lograr mover los cilindros, se determina de acuerdo a la siguiente expresión.

$$P_b = P_0 \frac{V_{PISTON}}{t} \quad \text{Ec 10}$$

Donde:

- Pb : Potencia de la Bomba, en watt.
P0 : Presión de Trabajo, en Pa.
Vpistón : Volumen del Pistón, en m³.
t : Tiempo de accionamiento, en s.

se ha considerado un tiempo de 6 segundos para el proceso de izaje del sistema, valor consensuado con el área de operaciones
reemplazando en la Ec 6 tenemos que:

$$P_b = 3.447.378,64 \text{ (Pa)} \frac{4 * 0,1^2 * \pi * 0,4 \text{ (m}^3\text{)}}{4 * 6 \text{ (s)}}$$

$$P_b = 7.220,17 \text{ (Watt)} \rightarrow 9,68 \text{ (HP)}$$

Volumen Estanque de Aceite: La capacidad del estanque necesario para el accionamiento del cilindro hidráulico queda determinado por:

$$CAP = V_{llenado} * 4 \quad \text{Ec 11}$$

Donde:

- CAP : Capacidad del estanque en m³.
V llenado : Volumen de llenado, en m³.

El volumen de llenado del cilindro hidráulico, está dispuesto por:

$$V_{LLENADO} = \frac{\pi * d^2}{4} * l \quad \text{Ec 12}$$

Donde:

- d : Diámetro del cilindro hidráulico, en m.

l : Carrera del cilindro, en m.
reemplazando en Ec 12 y luego en Ec 11 obtenemos que
CAP = 50 Lt.

la tabla N°11 muestra los resultados para todas las alternativas de los ítems calculados con las expresiones explicadas anteriormente. Se indica además que una vez que se calculó el diámetro del cilindro, se ingresó a catálogo, ver anexo 2, seleccionando los diámetros que se ajustaban lo más cercano al valor calculado, es decir 100, 63 y 50 mm

CENTRAL HIDRAULICA				
Ítems	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Cantidad de Cilindros	un	4	4	4
Diámetro de Cilindros	mm	100	63	50
Carrera	mm	400	400	400
Potencia Bomba	HP	10	4	2
Volumen Estanque Aceite	Lt	50	20	13

Tabla 11 Características Sistema Oleo hidráulico.

- Junta Rotacional

Para el dimensionamiento de la Junta Rotacional se contempla la utilización de una junta de diámetro nominal de 1.000 mm con extremos flangeado según normativa B16.1 AWWA Std C 207, clase D con cuerpo de acero ASTM A 216-WCB con doble sistema de rodadura con sistema de lubricación integrado y sellos en Vitón con respaldo en teflón Grafitado.

En cuanto a la dimensión de la junta, para la alternativa 1, se requiere una junta con una distancia entre flanges de 1.700 mm, esto debido a que este equipo debe absorber los 400 mm de desplazamiento que se pretende levantar la campana. Mientras que para las juntas rotacionales de la alternativa 2 y 3 se tiene una distancia entre flanges de 900 mm.

En esta instancia se ha verificado en el mercado la factibilidad constructiva para cada una de estas juntas, de las cuales se ha analizado que las juntas de rotación para la alternativa 1 posee mayores complicaciones constructivas por las grandes dimensiones y la factibilidad de sellos que permitan el movimiento radial y longitudinal, mientras que las juntas de las alternativas 2

y 3 corresponden a equipos ya diseñados y que se encuentran en el mercado con productos puestos en varios equipos y probados en diferentes rubros de dimensiones similares a la requerida.

- Junta expansión

Para el diseño de la junta de expansión se consideró la utilización de una junta de tela de diámetro nominal 1.000, de triple capa, capa exterior de Sílica aluminizada, capa intermedia de aislante térmico de colcha cerámica y capa interior Sílica aluminizada.

Tanto para la alternativa 1 y la alternativa 3 no se requiere una junta de expansión ya que el izamiento de la campana será absorbido por la junta de rotación y por manga deslizante respectivamente. Para la alternativa 2 se utilizará una junta con una distancia entre flanges de 1.100 mm.

- Sistema Motriz

Para la generación del movimiento rotacional se considera la utilización de un sistema piñón-corona que será actuado por un motor eléctrico, considerar que para el giro del brazo todas las alternativas contemplan un sistema pivoteado por medio de un conjunto de rodamientos axiales y radiales que permiten asegurar el giro del brazo.

Peso del Sistema Rotacional: Es el peso de los componentes del sistema rotacional, el que ya se ha explicado y determinado y se muestra en la tabla 7

Velocidad angular de giro: Se ha definido de acuerdo a requerimiento de operaciones y estaría determinado según la siguiente expresión:

$$W = \frac{\pi}{t}$$

Ec 13

Donde

π desplazamiento angular, en rad.

t tiempo en que recorre desde la posición operación hasta la posición espera, en s.

Tiempo de giro: Este tiempo es el que demora la campana entre un punto y otro, se define con ese valor según requerimiento de operaciones. Esta condición aplica para las 3 alternativas.

Potencia de Motor: Para la determinación de la potencia del motor eléctrico, se recurre a las siguientes expresiones, teniendo las consideraciones siguientes:

- Corona diámetro primitivo 900 mm
- Piñon diámetro primitivo de 300 mm
- Condición de aceleración para romper la inercia en un tiempo de 6 segundos
- Lograr una velocidad final constante de 3,3 RPM

Con las consideraciones indicadas se procede a realizar los cálculos para definir la potencia del motor eléctrico.

La potencia está en función del torque a generar en el eje de salida, el cual se calcula como sigue:

Tenemos que:

$$T = I \cdot \alpha \quad \text{Ec 14}$$

$$P = T \cdot \omega \quad \text{Ec 15}$$

Donde:

T : Torque de salida del motor (Nm)

I : Inercia del sistema a mover, con respecto al eje de giro. ($kg \cdot m^2$)

α : Aceleración angular (rad/s^2)

P : Potencia (watt)

ω : Velocidad angular (rad/s)

Se considera que para el torque calculado se aplicara un factor de seguridad de 1,5.

El momento de inercia se proyectó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I = \sum m_i * x_i^2 \quad \text{Ec 16}$$

Donde

m_i : es la masa del sistema.

x_i : es la distancia del punto de concentración de la masa al centro de rotación.

Para la alternativa 1 es como se indica a continuación:

$$I = 9.078 * \left(\frac{5,55}{2}\right)^2 \rightarrow I = 69.905 \text{ (kg*m}^2\text{)}$$

La aceleración angular, depende de dos datos de entrada, los cuales son:

θ : Ángulo de aceleración, el cual es el espacio en el cual la campana se desplaza aumentando su velocidad angular hasta su máximo. (°)

t : Tiempo de aceleración (s), este tiempo se ha definido y consensuado según requerimiento de operaciones a 6 s

Sin embargo, el ángulo de aceleración de la campana, no es el mismo que el motor eléctrico. Este deberá girar para alcanzar la velocidad final, por la relación de transmisión entre la corona de la columna, y el piñón del motor, por ende, la relación de ángulos se calculará como sigue:

$$\theta' = \frac{D}{d} \theta \quad \text{Ec 17}$$

Donde:

θ' : Ángulo de aceleración para el piñón del motor eléctrico. (rad)

D : Diámetro primitivo de corona en la columna. (mm)

d : Diámetro primitivo de piñón de motor eléctrico. (mm)

Reemplazando en Ec 13 tenemos que $\theta' = 3\theta$

Para calcular la aceleración angular para el piñón del motor, entonces se despeja de las siguientes ecuaciones:

$$\theta' = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \text{Ec 18}$$

Donde:

θ_0 : Ángulo inicial, el cual se considera como cero (0). (rad)

ω_0 : Velocidad angular inicial, la cual se considera como cero (0) (rad/s).

Entonces:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \theta'}{t^2} \quad \text{Ec 19}$$

La velocidad final que debe alcanzar el motor eléctrico, se calcula como sigue:

$$\omega = \alpha \cdot t \quad \text{Ec 20}$$

Donde:

ω : Velocidad angular final del motor eléctrico (rad/s)

La velocidad angular de la campana se ha definido y consensuado con operaciones en 3,3 RPM \rightarrow 0,3456 rad/s

Reemplazando en Ec 20 se tiene,

$\alpha = 0,0576 \text{ rad/s}^2$, ahora reemplazando en Ec 14 resulta que el torque es $T = 4.026,24 \text{ N}$, pero se había mencionado que se utilizará un factor de seguridad de 1,5, por tanto, el torque es $T = 6.039,36 \text{ N}$.

Ahora si reemplazamos en Ec 15 y consideramos que la velocidad angular del piñón es 3 veces la velocidad angular de la campana nos resulta la potencia $P = 6.261,16 \text{ watt} \rightarrow 8,4 \text{ HP}$

Factores	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Peso sistema rotacional	kg	9.078	8.273	8.273
Inercia Rotacional	kg*m2	69.905	63.706	63.706
Factor Seguridad		1,5	1,5	1,5
Torque	Nm	6.039,36	5.503,84	5.503,84
Potencia	watt	6.261,16	5.705,97	5.705,97
	Kwatt	6,26	5,71	5,71
	Hp	8,40	7,65	7,65

Tabla 12 Resumen de valores obtenidos para potencia

El dimensionamiento del sistema motriz se ve reflejado en la Tabla 12, se indica que según la potencia calculada se ingresó a catalogo (ver anexo 3) y se seleccionó potencia de motor como se muestra en tabla 13. Además, se debe considerar que el grado de protección del motor debe ser IP65. Esto último hace referencia a la clase de protección del equipo eléctrico frente al ingreso de agentes externos (polvo o agua) (Ingress Protection). El primer dígito hace referencia a la protección del equipo frente a la entrada de elementos sólidos, y puede oscilar entre los valores 0 y 6. El segundo dígito hace referencia a la protección del equipo frente a la entrada de agua, y puede oscilar entre los valores 0 y 8.

Las distintas clases de protección fijan, en qué medida se puede exponer un aparato eléctrico en condiciones ambientales adversas, sin ser dañado o sin representar un riesgo de seguridad o para la salud.

SISTEMA ROTACIONAL				
Items	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Peso de Sistema Rotacional	Kg	9.078	8.273	8.273
Velocidad angular de giro	rad/seg	0,105	0,105	0,105
Tiempo de giro	Seg	30	30	30
Potencia Motor	Kw	7,50	7,50	7,50
	Hp	10,06	10,06	10,06

Tabla 13. Potencia sistema motriz para cada alternativa

Cabe destacar que el dimensionamiento del sistema motriz es similar para cada alternativa ya que las diferencias de pesos son menores para cada alternativa.

4.3.2. Operaciones

Dentro de este análisis se determinará la factibilidad para operar de cada una de los componentes principales para las diferentes alternativas considerando las condiciones propias de operaciones de fundición y en especial las condiciones particulares del sector de sangría de escoria del CT, las variables analizadas son las siguientes:

- Derrame de material fundido

Debido a las condiciones de funcionamiento de la zona de sangrado del CT las distintas alternativas estarán inmersas dentro de zona en las que se producen derrames de material fundido debido a los siguientes eventos:

- Labores de apertura y taponeado de la placa de escoria del CT.
- Derrames de Material fundido en transporte de Ollas
- Derrames de emergencia debido a volteo del CT.

Considerando que los derrames de material fundido evacuan hacia el nivel de piso, aledaña al nivel de la olla, la alternativa 1 sería la que presentaría más desventajas, esto debido a que en esta alternativa proyecta la incorporación del sistema de izaje en la parte inferior del pivote, por lo que cualquier derrame de material afectaría en forma considerable el sistema oleohidráulico. En tanto las alternativas 2 y 3 presentan ventajas ya que los equipos principales no se encuentran en un nivel próximos a ser afectados por posibles derrames.

- Continuidad operacional en caso de Falla.

Debido a las condiciones propias de operación del CT, el sangrado se realiza por medio de ollas de transporte. Durante esta etapa de sangrado se utilizan aproximadamente 6 a 8 ollas, la duración del llenado de una olla es aproximadamente de 5 minutos y la capacidad de las ollas es de 6 m³. Esta actividad de sangrado se repite en promedio 10 veces durante 24 horas.

Debido a lo anterior las alternativas a considerar deben ser robustas y confiables en cuanto a su diseño para poder evitar tener falla durante el sangrado. Adicionalmente a la robustez de los equipos, se debe considerar que en caso que el sistema sufra una falla durante la captación de gases en el sangrado del CT, la operación intervendrá los sistemas para liberar la campana y permitir que el operador del puente grúa pueda realizar el recambio de ollas asegurando la operación del CT.

Considerando lo anterior se ve que la alternativa 3 es más favorable pues el equipo a intervenir en caso de falla sería solo el sistema de izaje oleohidráulico de las compuertas, además se puede diseñar que las compuertas sean pivoteadas y con ello se evitaría el daño en caso de tener que forzar el giro de la campana para liberar la olla, en tanto las alternativas 1 y 2 son más desfavorables pues cualquier movimiento de emergencia que se requiera hacer podría dañar la campana de captación con el aumento de tiempos de detención producto del cambio de campana y los sistemas hidráulicos y de expansión de dichas alternativas.

4.3.3. Factibilidad Constructiva.

Dentro de este análisis se determinará la factibilidad de fabricación de cada uno de los equipos principales.

- Junta rotacional

La junta rotacional, si bien es un equipo utilizado en sistema de ducto similares, posee restricciones en cuanto a su fabricación y adquisición producto de su alto nivel de precisión, además de condiciones de montajes especiales debido a las mínimas holguras axiales permitidas para su correcto funcionamiento. Tomando esto como consideración, se puede ver

que la alternativa 1 posee desventajas en comparación con las alternativas 2 y 3 las cuales poseen juntas de rotación similares. Esta desventaja se ve acrecentada producto de la condición de deslizamiento requerida para absorber el izaje requerido para la campana.

- Sistema de expansión

El sistema capaz de absorber el izaje requerido para la campana (400 mm) será diferente en cada una de las alternativas. Para la alternativa 1 se considera absorber el izaje por medio de la junta rotacional y de expansión conjunta, para la alternativa 2 se considera una junta de expansión de tela de tres capas y para la alternativa 3 se considera la utilización de una manga deslizante. Considerando la constructibilidad y mantenibilidad de cada uno de los sistemas se puede ver que la alternativa 1 es más desfavorable producto de la complejidad tanto para la construcción como el montaje del sistema. La alternativa 2 al ser un sistema independiente y con montaje por medio de flanges es la opción más cómoda para la fabricación como el mantenimiento. La opción 3, si bien no es compleja su construcción, la mantenibilidad puede verse afectada debido al constante deslizamiento de la manga y las altas temperaturas a las que se vería expuesta, lo que podría presentar problemas de apriete por excesivas dilataciones térmicas además de presentar problemas en el sistema de sellos que provocaría filtraciones de gases de la campana.

4.3.4. Mantenimiento

Para el análisis de mantenibilidad de las diferentes alternativas se consideró la factibilidad de realizar mantenimiento de los diferentes equipos considerando complejidad en labores de mantención y tiempos estimados en mantenimientos de cada uno de los equipos principales. Para ello se realizó una matriz de mantenimiento analizando en forma separada los equipos principales. En ella se consideraron factores como Probabilidad de falla en donde se consideró con valor 1 aquellas que tienen poca probabilidad y con valor 3 a aquellos equipos que tienen alta probabilidad. Así también se consideró un índice de disponibilidad para cada una de las

alternativas considerando un valor 1 aquellos equipos que tienen un mayor tiempo de detención y un valor 3 a aquellos que presentan un menor tiempo de detención.

ÍTEM	COMPONENTES	FUNCIONES	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFECTOS DE LA FALLA	MEDIDAS	CONSECUENCIAS (PROCESO)	COMPLEJIDAD MANTENIMIENTO		
								ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Sistema Motriz	Motor	Genera Potencia y Velocidad	El Motor no Enciende	El motor se quemó	El equipo queda inmovilizado	Cambio del Motor	Detención del proceso al fallar y al realizar mantenimiento.	Reparación y/o desmontaje de sistema motriz para mantenimiento	Reparación y/o desmontaje de sistema motriz para mantenimiento	Reparación y/o desmontaje de sistema motriz para mantenimiento
				Al motor no llega energía		Revisar cableado, tomas de energía y posibles causas de la falla para su reemplazo				
				Falla de la chaveta		Reemplazo de la chaveta dañada				
				Falla del embobinado		Cambio del motor				
				Falla un buje/Rodamiento		Reemplazo del buje/Rodamiento				
	Motor funciona con ruidos extraños	Falta de lubricación	Mal funcionamiento del motor	Lubricar						
	Eje	Transmite potencia y torque	Ruidos extraños en el equipo	Engranaje, carga excesiva	Desgaste, ruptura	Reemplazar la junta, medir distancia entre ejes, evitar juego.				
Corona	Transmite potencia	Ruidos extraños en el equipo	Acumulación de incrustaciones	Ruptura engranaje	Reemplazo					
Tiempo Mantenimiento								4 Horas	4 Horas	4 Horas
Probabilidad de Falla								2	2	2
Disponibilidad								2	2	2

Tabla 14 Matriz Mantenimiento Sistema Motriz

ÍTEM	COMPONENTES	FUNCIONES	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFECTOS DE LA FALLA	MEDIDAS	CONSECUENCIAS (PROCESO)	COMPLEJIDAD MANTENIMIENTO		
								ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Sistema Oleohidráulico	Vástago	Guiar el movimiento del Pistón	Mal funcionamiento Cilindros, Ruidos extraños	Concentración de esfuerzos Fatiga Corrosión	Desgaste, Ruptura	Reparación, recubrimiento, cambio de vástago	Detención del proceso al fallar y al realizar mantenimiento.	Desmontaje de el equipo completo para realizar el mantenimiento. Se pueden dañar más componentes al soportar más esfuerzos (probabilidad de fallas es mayor)	Desmontaje de campana y junta de expansión para mantenimiento. Se pueden dañar más componentes. Probabilidad de falla mayor a opción 3.	Desmontaje solamente de compuerta deslizante. Probabilidad de falla menor.
	Pistón	Transmitir Energía	Equipo asociado a sistema oleohidráulico no tiene movimiento vertical	Concentración de esfuerzos	Ruptura	Cambio de pistón				
			Ruidos extraños	Corrosión	Desgaste	Recubrimiento				
	Camisa		Mal funcionamiento Cilindros	Existencia de juego con pistón	Fisuras, desgaste	Recubrimiento, Cambio de componente				
Tiempo Mantenimiento								12 Horas	5 Horas	3 Horas
Probabilidad de Falla								3	2	1
Disponibilidad								1	2	3

Tabla 15 Matriz Mantenimiento Sistema Oleo hidráulico

ÍTEM	COMPONENTES	FUNCIONES	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFECTOS DE LA FALLA	MEDIDAS	CONSECUENCIAS (PROCESO)	COMPLEJIDAD MANTENIMIENTO		
								ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Junta Rotacional	Sellos, Camisa y Rodamientos	Permitir giro	Ruidos extraños, brazo pivote no gira	Junta montada incorrectamente	El equipo queda inmovilizado, desgaste, ruptura	Realizar montaje adecuado	Detención del proceso al fallar y al realizar mantenimiento.	Desmontaje Sistema para mantenimiento	Desmontaje Sistema para mantenimiento	Desmontaje Sistema para mantenimiento
				excesivo apriete eliminado		Ajustar componentes				
				tolerancias permitidas		Cambio de sellos				
				Sellado de junta dañadas		Cambio rodamientos				
			Rodamientos desgastados							
Tiempo Mantenimiento								4 horas	4 horas	4 horas
Probabilidad de Falla								2	2	2
Disponibilidad								2	2	2

Tabla 16 Matriz Mantenimiento Junta Rotacional.

ÍTEM	FUNCIONES	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFECTOS DE LA FALLA	MEDIDAS	CONSECUENCIAS (PROCESO)	COMPLEJIDAD MANTENIMIENTO			
							ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	
Junta de Expansión	Absorber esfuerzos producidos por deformaciones en elementos rígidos	Descomposición en la junta	Fatiga, vibraciones excesivas, ambiente	Desgaste	Reemplazo de junta	Detención del proceso al fallar y al realizar mantenimiento.	Desmontaje Sistema para mantenimiento	Desmontaje Campana para Mantenimiento	No existe Sistema de Junta de Expansión	
							Tiempo Mantenimiento	4 Horas	2 Horas	0 Horas
							Probabilidad de Falla	3	2	0
							Disponibilidad	1	2	Siempre

Tabla 17 Matriz Mantenimiento Junta de Expansión.

Analizando los resultados de las tablas Tabla 14 a la Tabla 17, se puede deducir que la alternativa que posee menor probabilidad de falla y mejor disponibilidad, corresponde a la alternativa 3, seguida de la alternativa 2 y alternativa 1 respectivamente.

4.3.5. Confiabilidad

Dentro de este análisis se determinará la confiabilidad para operar de cada una de los componentes principales para las diferentes alternativas considerando las condiciones propias de operaciones de fundición y en especial las condiciones particulares del sector de sangría de escoria del CT, las variables analizadas son las siguientes:

- Sistemas redundantes

Para tener una mayor confiabilidad se proyecta utilizar equipos redundantes para disminuir las posibilidades de fallas catastróficas, para ello se diseñará los sistemas oleo hidráulicos con 2 bombas, una en operación y una Stand by, además se proyecta utilizar un sistema de generación de presión en base a nitrógeno. Este sistema consiste en mantener botellas con nitrógeno presurizado, de manera de liberar la energía y este se pueda expandir por el piping de manera de operar el sistema para poder sacar de la línea de fuego el equipo en caso de emergencia. Para los cilindros se considera realizar el diseño sobre estimado lo que implica que para los izajes de las estructuras se utilizarán 4 cilindro de los cuales estarán diseñados para que con solo 3 se pueda realizar el izaje en caso de falla de alguno de ellos.

Las consideraciones al diseño mencionadas anteriormente son aplicables a las 3 alternativas descritas, por lo que el diseño de la alternativa seleccionada contará con la máxima confiabilidad.

- **Golpes de Olla en Operación:**

Debido a las condiciones propias de operación del sangrado de escoria del CT y del transporte de las ollas a través del uso del puente grúa, cualquiera de las alternativas a implementar en el sector se verá afectada por posibles golpes. Analizando las diferentes alternativas se puede apreciar que la alternativa 1 es la más favorable debido a que los equipos de izaje y expansión se encuentran alejados de la campana de captación que es la zona en la que se verá más afectada por el golpe de la olla o del aparejo del puente grúa.

La alternativa 2 es la más desfavorable debido a que ubica los cilindros hidráulicos y la junta de expiación en la zona de golpes de la olla. En cambio, la alternativa 3 presenta desventajas solo al verse afectado los cilindros hidráulicos en caso de golpes.

- **Gases Calientes.**

Debido a las condiciones propias de operación del sangrado de escoria del CT los equipos utilizados en cada una de las alternativas deberán ser capaces de trabajar en presencia de gases sulfurosos, debiendo soportar condiciones adversas de temperatura, partículas incandescentes y corrosión.

Si bien la campana será la encargada de captar los gases producidos por el sangrado y permanecerá en contacto permanente con los gases analizaremos la mejor alternativa que permita mantener los equipos principales (entiéndase Junta de rotación, Sistema Oleohidraulico, Junta de expansión) en menor contacto con los gases. Tomando lo anterior como base se puede apreciar que la alternativa 1 ubica todos los equipos principales distante a la zona de emanación de gases, por lo que presenta ventajas en este aspecto, en desmedro de la alternativa 2 y 3 que poseen el sistema de ajuste de izaje cercano a la zona de emanación de gases. La alternativa 3 es la más desfavorable ya que posee una manga deslizante la cual estará en mayor contacto con los gases lo que puede provocar mayor probabilidad de falla en el sistema de izamiento de la manga.

- Proyección de Material Fundido.

Debido al método productivo actual del Convertidor Teniente, en especial lo que tiene que ver con el transporte de escoria por la sangría y olla, se producen muchas proyecciones de material incandescente y derrames que podrían afectar los equipos principales del sistema de giro de la campana, Al realizar el análisis de cada una de las alternativas podemos notar que la alternativa 1 posee mayor desventajas por contar con el sistema de izaje en la parte inferior del pedestal lo que provocaría que el sistema de izaje posea mayor probabilidad de fallas. La alternativa 3 posee una compuerta deslizante la que, por su ubicación, quedaría expuesta a proyecciones de material incandescente lo que podría provocar atascamiento de la compuerta lo cual iría en desmedro de la operatividad del sistema. En cambio, la alternativa 2 es la que posee mayor protección de los equipos principales con respecto al material incandescente.

4.4. Selección de alternativa

Para el análisis de la mejor alternativa se realiza un análisis multivariable de las distintas alternativas considerando los puntos 4.3.1. al 4.3.5. analizados anteriormente. Para este análisis se ha definido una ponderación para cada variable según se muestra a continuación:

Variable	Ponderación
Análisis Dimensional	20%
Operaciones	25%
Factibilidad Constructiva	10%
Mantenimiento	25%
Confiability	20%

Tabla 18 de Ponderaciones

Se evaluará con 5 aquellas alternativas que dan máximo cumplimiento a la variable, con 3 a aquellas alternativas que dan cumplimiento parcial a las variables, y con 1 la alternativa que no cumple o cumple en forma más deficiente la variable analizada. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 19

Variable	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Análisis Dimensional	20%	0,6	0,7	1
<i>Central Hidraulica</i>	5%	1	3	5
<i>Junta rotacional</i>	5%	1	5	5
<i>Junta Expansión</i>	5%	5	1	5
<i>Sistema Motriz</i>	5%	5	5	5
Operaciones	25%	0,25	0,65	1,25
<i>Derrame Material Fundido</i>	10%	1	5	5
<i>Continuidad Operacional en Caso de Falla</i>	15%	1	1	5
Factibilidad Constructiva	10%	0,1	0,5	0,4
<i>Junta Rotacional</i>	5%	1	5	5
<i>Sistema de Expansión</i>	5%	1	5	3
Mantenimiento	25%	0,25	0,75	1,25
<i>Mantenimiento</i>	25%	1	3	5
Confiabilidad	20%	0,8	0,7	0,6
<i>Sistemas redundantes</i>	5%	5	5	5
<i>Golpes de Olla En operación</i>	5%	5	1	3
<i>Gases Calientes</i>	5%	5	3	1
<i>Proyeccion de material Fundido</i>	5%	1	5	3
Total	100%	2	3,3	4,5

Tabla 19 Resultado análisis de Multivariable Alternativa de Campana

En cuanto a la selección del mejor sistema de campana rotatoria que permita realizar los desplazamientos rotacionales y de izaje de la campana, tomando como base de análisis las características dimensionales, características operacionales, factibilidad constructiva, mantenimiento y confiabilidad, es la alternativa 3 la que obtiene la mejor ponderación. Adicional a esto tomando como base de análisis el costo económico, la alternativa 3 es la más favorable que el resto de las otras alternativas (ver tabla 20 y 21).

4.5. Costos alternativas

La estimación de costos a nivel conceptual de cada una de las alternativas puede verse reflejado en la Tabla 20. Para la determinación de los costos de adquisiciones se realizó la estimación resumida en la tabla 21

	ITEM	UNIDAD	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
A	INSUMOS	US\$	274.456	243.525	235.651
A1	COMPONENTES MECANICOS PRINCIPALES	US\$	196.040	173.946	168.322
A2	OBRAS ELECTRICAS (10% A1)	US\$	19.604	17.395	16.832
A3	OBRAS INSTRUMENTACION (20% A1)	US\$	39.208	34.789	33.664
A4	OBRAS CIVILES (10% A1)	US\$	19.604	17.395	16.832
B	FLETES (10% A)	US\$	27.446	24.352	23.565
C	MANO OBRA 50%(A+B)	US\$	150.951	133.939	129.608
D	UTILIDADES (20% A+B+C)	US\$	90.570	80.363	77.765
E	GASTOS GENERALES (10% A+B+C)	US\$	54.342	48.218	46.659
F	TOTAL COSTO DIRECTO (A+B+C+D+E)	US\$	597.765	530.397	513.248
G	COSTO DEL DUEÑO (20% F)	US\$	119.553	106.079	102.650
H	CONTINGENCIAS (20% F)	US\$	119.553	106.079	102.650
	COSTO TOTAL (F+G+H)	US\$	836.871	742.556	718.547

Tabla 20 Estimación de Costos Alternativas.

4.5.1. Estimación costos de Adquisición Alternativas.

El detalle de la estimación de los costos de adquisición se resume en la Tabla 21.

COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTOS		
			ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
SISTEMA MOTRIZ ROTACIONAL			21.000.000	21.000.000	21.000.000
Motor Electrico	un	1	8.000.000	8.000.000	8.000.000
Sistema rodamientos	un	1	5.500.000	5.500.000	5.500.000
Piñon Cremallera	un	1	7.500.000	7.500.000	7.500.000
SISTEMA HIDRAULICO			10.300.000	8.700.000	7.100.000
Central Hidraulica	un	1	5.800.000	4.800.000	3.900.000
Cilindros	un	4	4.500.000	3.900.000	3.200.000
JUNTA DE EXPANSION	un	1	-	1.890.000	-
JUNTA ROTACIONAL	un	1	-	31.000.000	31.000.000
JUNTA ROTACIONAL Y EXPANSIÓN	un	1	45.000.000		
DUCTERIA	kg	1722	14.292.600	14.292.600	14.292.600
CAMPANA	kg	2540	15.240.000	15.240.000	15.240.000
ESTRUCTURA PIVOTE	kg	2164	10.818.000	10.818.000	10.818.000
FUNDACION	m3	10	5.000.000	5.000.000	5.000.000
Total	\$		121.650.600	107.940.600	104.450.600
	US\$		196.040	173.946	168.322

Tabla 21 Estimación de Costos de adquisición.

En anexo 4, se muestra una cotización de una junta de rotación DN 1.000 mm.

4.6. Recomendaciones

Pruebas de calidad

Para asegurar la correcta fabricación, construcción y montaje de este proyecto, se deberá solicitar al tercero que construya, toda la documentación correspondiente, que acredite los materiales, pruebas de operación en fabrica y métodos de construcción, según los estándares que se indiquen en las especificaciones técnicas.

Una vez que el sistema este instalado en su posición final, conectado los ductos y los demás equipos pertenecientes al sistema de captación campana giratoria, se deberá llevar a cabo todas las pruebas concernientes a demostrar que el equipo opera como lo especificado y asegurado por el proveedor.

Se deberá realizar

Pre - Comisionamiento:

El que deberá consistir en la revisión del término mecánico, donde se deberán generar los protocolos de las actividades de construcción necesarias para cumplir con el correcto montaje de los equipos mecánicos e instrumentos, así como las estructuras requeridas por el proyecto.

Se define el término del montaje, ya sea de equipo mecánico, eléctrico o construcción, como el punto de medición de los trabajos ejecutados donde se puede demostrar que el equipo ha sido suministrado, construido e instalado según los requerimientos de la ingeniera, especificaciones técnicas de diseño y requerimientos de los proveedores, considerando todas las pruebas necesarias. Esta etapa es el periodo en el que se llevan a cabo las comprobaciones de los sistemas construidos, con las unidades sin operar, se verifica que la instalación esté de acuerdo con los planos y especificaciones y se da la conformidad. Esto incluye los ajustes y/o reparaciones establecidas en la lista de observaciones, la calibración de los instrumentos, las pruebas de estanqueidad, entre otros. Esta fase conduce a la terminación mecánica de las unidades (equipos y sistemas) y prepara para el comisionado de nuevo sistema.

Algunas de las principales tareas comprendidas dentro del marco del precomisionado, se presentan a continuación únicamente como referencia:

- Revisión de la correcta instalación de equipos mecánicos y sistema oleo-hidráulico.
- Revisión de la correcta instalación de junta rotatoria y soporte de ductos.
- Trabajos de preparación de la inspección.
- Revisión de los P&ID.
- Revisión de la operación de proceso.
- Revisión de los instrumentos.
- Revisión de alarmas.

Comisionamiento:

En el comisionamiento se deberán llevar a cabo las verificaciones dinámicas de los equipos en operación, la simulación de los lazos de control y de los sistemas de seguridad y las pruebas de operación. El Comisionado incluye también una variedad de actividades, tales como la limpieza de los sistemas de ductos, las pruebas de estanqueidad.

Para iniciar la fase del comisionado, se requiere que todos los certificados, pruebas, correspondencia, boletines y en general información de construcción y montaje del grupo de control de calidad, se recopilen como parte de la información que será manejada por la Coordinación de Puesta en Marcha para iniciar los trabajos relacionados con el comisionado.

El comisionado se deberá realizar para el término y aceptación de las pruebas pre operacionales de los sistemas y subsistemas, indican la terminación mecánica de las instalaciones (mechanical completions) y confirman que la instalación se encuentra en condiciones seguras de operación para las personas y equipos, con listado de observaciones (punch-list) de puntos críticos y de seguridad aceptados y en ejecución.

Una vez terminada la preparación de los sistemas, se deberán entregar los registros aprobados de las pruebas realizadas, junto con el listado de observaciones (punch-list) ejecutados, revisados y aceptados por la Dirección del Proyecto para realizar una revisión conjunta de las instalaciones dando inicio a la puesta en marcha de las instalaciones y obtener el certificado de

aceptación del término mecánico de las instalaciones (Mechanical Completion) por parte de la Dirección del Proyecto.

Puesta en Marcha

Esta fase involucra todos los trabajos destinados a poner en operación los diversos sistemas de captación de gases considerados (Captación gases ollas), una vez completadas todas las actividades previas a la puesta en marcha, generar instancias de pruebas preoperacionales (periodo de mantención) y una vez que la planta vuelva a su etapa de operación normal, establecer pruebas operacionales a máxima capacidad.

Se deberá cautelar la correcta incorporación de este sistema de captación de gases, al sistema completo de captación de gases Sangrías HE, CT y gases secundarios CPS, para lo cual deberá coordinar la actividad de puesta en marcha con operaciones y las demás empresas colaboradoras que estarán llevando a cabo la puesta en marcha del sistema completo.

Previo al inicio de la Puesta en marcha, se deberá emitir una Planificación detallada de la PEM, a través de un Programa de Trabajo, que debe incluir los plazos, los recursos necesarios, los roles, las responsabilidades y las autoridades de la Puesta en Marcha. También se deberá establecer los requisitos técnicos a medir en equipos, instalaciones, ensayos o pruebas, modificaciones (imprescindibles, deseables) y mejoras, criterios de aceptación y cómo se recopilará la información obtenida.

Las pruebas preoperacionales, involucran las siguientes actividades directas e indirectas, nombradas de manera no exhaustiva:

- Chequeo al detalle de todas las conexiones eléctricas, verificando voltajes, corrientes, frecuencias, etc.
- Realización de pruebas sin cargas, estas involucran activación de sistema motriz de campanas, sistemas oleo-hidráulicos, Aquí se verificarán presiones y flujos de aire, de acuerdo al diseño establecido en la ingeniería, y se realizarán ajustes en terreno para lograr tales mediciones.

- Verificación y sellamiento de posibles fugas o aberturas en los ductos no estipuladas en la etapa de diseño.
- Verificación del sistema de accionamiento de campanas, efectuando operación de prueba, de acuerdo al procedimiento establecido en la ingeniería.

La puesta en marcha se realizará de acuerdo a las siguientes actividades directas e indirectas, nombradas de manera no exhaustiva:

- Generación de planos AS-BUILT entregados de manera física y digital.
- Coordinación con operaciones para proceso de sangrado y captación de gases.
- Establecer funcionamiento de sistema de captación, dentro de los parámetros de diseño.
- Verificación en terreno, incluyendo mediciones, de presiones y temperaturas, sean las especificadas por el diseño.
- Generación de manuales de procedimientos de trabajo para la captación
- Actividades de capacitación al personal de operaciones y mantenimiento a cargo del sistema y otros que lo requieran.

Una vez cumplidos todos estos procesos y con toda la documentación visada y aprobada, se podrá dar por terminado el proyecto IMPLEMENTACIÓN DE CAMPANA DE CAPTACIÓN DE GASES SECTOR DESCARGA ESCORIA DE CONVERTIDOR TENIENTE DE FUNDICIÓN DE COBRE en su totalidad.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

Como se mencionó al inicio de este trabajo, la fundición se encuentra ubicada en un Complejo Industrial decretado como “Zona Saturada de Gases”. Por otro lado la Autoridad de Medio Ambiente establece una actualización a las normas de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico, que en su artículo I dice *“Objetivo: La presente norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico tiene por objeto proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional. Como resultado de su aplicación se reducirán las emisiones al aire de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO₂), arsénico (As) y mercurio (Hg)”*. Por lo anterior, es necesario implementar nuevas tecnologías, para poder mejorar el desempeño en materia de emisiones. Esta implementación debe ir de la mano, no solo de nueva infraestructura, sino también de un cambio cultural de los trabajadores, para hacer de la fundición una empresa de alto estándar, sustentable y con una proyección hacia el futuro.

Los proyectos que han ido avanzando en su implementación, son de suma importancia que se ejecuten e implementen en un 100%, para poder dar cumplimiento a todos los compromisos adquiridos, y no es excepción la fuente de emisión que se ha tratado en este trabajo.

La fuente de emisión **“Sangría de escoria”**, es una de las últimas fuentes emisoras de gases, en la que no se ha implementado una solución, dado que se debía buscar una alternativa diferente a las soluciones aplicadas en las otras sangrías de la fundición.

Después de realizar un análisis de las 5 alternativas propuestas para poder capturar los gases fugitivos de la sangría de escoria, considerando sus ventajas y desventajas, la alternativa propuesta que cumplió con todos los criterios definidos por las áreas usuarias respectivas, fue la alternativa N°4 (ver tabla 4). Esta alternativa seleccionada consiste en implementar una campana giratoria de captación, que tenga la particularidad de ser rotatoria, para permitir las operaciones rutinarias de la fundición.

Esta alternativa cumple el ámbito de seguridad para las personas, permite el acceso de maquinaria para limpieza, permite la operación de la taponeadora, evita la exposición del

operador a la canala, no interfiere con el sistema motriz del CT, para su implementación no se requieren modificaciones mayores y por último los impactos en la operación y mantención son mínimos.

La campana giratoria de captura de gases para esta aplicación es única y no existe otra, al menos en el mercado nacional, es una idea conceptual que será un prototipo que dará solución a la problemática presentada.

La campana desarrollada en este trabajo, es la alternativa que además ha logrado tener la mayor cantidad de ventajas, tanto en los aspectos de características dimensionales, características operacionales, factibilidad constructiva, mantenimiento y confiabilidad. Se puede indicar que el diseño no entorpecerá el sistema de transmisión del Convertidor Teniente, no se tendrán que realizar modificaciones constructivas a los equipos auxiliares como lo son la canaleta y la taponeadora.

Este diseño de campana giratoria, permite el libre paso de maquinaria para limpieza. Los mecanismos que la componen son de utilización común en el mercado, no existen partes y piezas rebuscadas o difíciles de obtener. Su construcción e implementación se podría realizar en una mantención anual, donde los trabajos que están en la línea de fuego se puedan realizar con toda seguridad. Los trabajos posteriores pueden ser ejecutados con la planta en operación.

En términos de seguridad, no presenta brechas que cubrir, dado que su operación y control puede ser a distancia.

Analizando las desventajas que podría tener el diseño, se podría mencionar que la principal desventaja es la utilización de aceite oleo hidráulico para el funcionamiento del sistema de izaje, dado que, ante una fuga en sectores calientes de la fundición, podrían provocar un amago de incendio o definitivamente un incendio. Ante este problema la tecnología ha buscado alternativas y hoy en día existen tipos de aceites que tienen componentes retardantes al fuego, por lo tanto, esa desventaja estaría superada.

La contribución de dar solución a la captura de los gases fugitivos de la sangría de escoria del CT, no aumenta la producción, sino permite cumplir con las nuevas restricciones de la normativa medio ambiental, y de paso dar continuidad operacional. Los problemas que

podrían desencadenar el no cumplimiento de la normativa, es la paralización y/o cierre de la fundición. Frente a este escenario, la aplicación de la alternativa seleccionada dará cumplimiento a los estándares medio ambientales aplicados en la actualidad, lo que contribuirá, además, a tener procesos más sustentables y amigables con el medio ambiente.

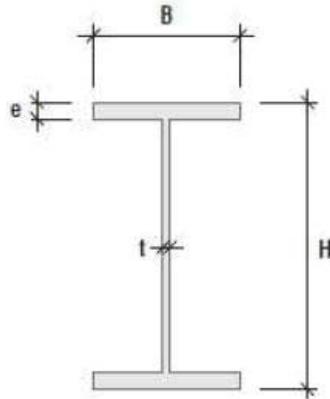
BIBLIOGRAFIA

- Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, Octava Edición, MCGraw Hill, 2008.
- Acuerdo N°18 2016 Republica de Chile Consejo de Ministros para la sustentabilidad, Ministerio del Medio Ambiente.
- DS 10/2015 del Ministerio de Medio Ambiente.
- DS 28, establece norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico, fecha promulgación 30 julio 2013, ministerio del medio ambiente.

ANEXOS

Anexo 1 Propiedades Mecánicas Viga

Viga	H (mm)	B (mm)	e (mm)	t (mm)	Peso (kg/m)	Area (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Wx (cm ³)	ix (cm)	Iy (cm ⁴)	Wy (cm ³)	Iy (cm)
IN 40X80,1	400	250	16	6	80,1	102,1	32000	1600	17,7	4167	33	6,39



H: Altura de Viga
B: Ancho de Ala
e: Espesor Ala
t: Espesor Alma

Anexo 2 Catálogo SMC Diámetros Cilindros

Serie CHKDB Esfuerzo teórico



Unidad: N

Diámetro (mm)	Tamaño vástago (mm)	Sentido de movimiento	Área efectiva (mm ²)	Presión de trabajo (MPa)		
				3.5	7	10
20	12	SALIDA	314	1099	2198	3140
		ENTRADA	201	704	1407	2010
25	14	SALIDA	490	1715	3430	4900
		ENTRADA	336	1176	2352	3360
32	18	SALIDA	804	2814	5628	8040
		ENTRADA	549	1922	3843	5490
40	22.4	SALIDA	1256	4396	8792	12560
		ENTRADA	862	3017	6034	8620
50	28	SALIDA	1963	6871	13741	19630
		ENTRADA	1347	4715	9429	13470
63	35.5	SALIDA	3117	10910	21819	31170
		ENTRADA	2127	7445	14889	21270
80	45	SALIDA	5026	17591	35182	50260
		ENTRADA	3436	12026	24052	34360
100	56	SALIDA	7853	27486	54971	78530
		ENTRADA	5390	18865	37730	53900

Esfuerzo teórico (N) = Presión (MPa) x Área efectiva (mm²)


157

Anexo 3 Catalogo motores eléctricos WEG

Gama de motores Fundición de hierro

Potencia kW	Carcasa	In (A) 400V	I/In	Cp/Cn	Cnv/Cn	Inercia (kgm2)	Nivel sonoro dB(A)	Peso (kg)	% de plena carga					
									Eficiencia			Factor de potencia		
									50	75	100	50	75	100

W22 - Fundición de hierro- Alta Eficiencia - IE2- 4 Polos

0,25	80	0,6	5,5	200%	250%	0,00153	7644	9	70	74	74	0,61	0,74	0,81
0,37	80	0,87	5,7	220%	270%	0,00187	44	9,5	73	75,5	75,5	0,6	0,73	0,81
0,55	80	1,27	5,8	240%	280%	0,00221	44	10,5	75	76,5	76,5	0,61	0,74	0,82
0,75	90S	1,69	5,9	220%	260%	0,00384	49	17,5	78	80	80	0,59	0,72	0,8
1,1	90S	2,4	6,5	210%	260%	0,00494	49	19	81	81,8	81,8	0,62	0,75	0,81
1,5	90L	3,26	6,3	200%	280%	0,00546	49	22	81,5	83	83	0,57	0,72	0,8
2,2	100L	4,64	6,6	310%	320%	0,00822	53	30,5	84	84,5	84,5	0,63	0,75	0,81
3	100L	6,17	6,5	320%	330%	0,00972	53	33	85	85,6	85,6	0,64	0,76	0,82
4	112M	8,12	6,6	200%	260%	0,01558	56	42	86	86,7	86,7	0,64	0,76	0,82
5,5	132S	10,5	7,3	190%	300%	0,04163	56	63	88	88,1	88,1	0,69	0,81	0,86
7,5	132M	14,1	7,2	200%	300%	0,05284	56	72	88,7	89	89	0,71	0,81	0,86
9,2	132M	17,3	7,7	220%	320%	0,06039	56	75	89,2	89,5	89,5	0,7	0,81	0,86
11	160M	21,2	6,4	230%	280%	0,07304	61	105	89	90,2	90,2	0,65	0,76	0,83

Anexo 4 Cotización Junta Rotacional

		COTIZACIÓN N° 167		
At.Sr. Señor Teléfono E-mail				
Favor emitir Orden de Compra a: Com. y Dist. Patagón Tec Ltda RUT 76.375.267-4 Dirección: Sendero la Arboleda Poniente 4368 Puente Alto, Santiago Giro: Comercializadora y Distribuidora Teléfono: 056-2-29571700				
Código	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Valor Total
PT-003-040	1	Junta de Unión Rotatoria Estilo 4020, DN 1000 con extremos enflanchados norma ASME B 16.1 AWWA Std. C-207 Clase D, Cuerpo acero carbono ASTM A 216-WCB, con doble pista de rodadura integrales, revestimiento aplicado de alta dureza, esferas de rodado con sistemas de lubricación incorporadas, sellos internos moldeados en vitón, con respaldo de teflón-grafito. Incluye 4 puntos de lubricación reforzadas en cada pista lubricación, Patagón Tec. Nota: Material trabajado en conjunto con Ing. FDA, para el proyecto.	\$ 25.921.000	\$ 25.921.000
Contacto			Neto	\$ 25.921.000
E-mail: ivan.ulloa@patagontec.cl - ventas@patagontec.cl			I.V.A.	\$ 4.924.990
Teléfono 056-2-29571700 Móvil: 09-95840253			TOTAL	\$ 30.845.990
Validez de la oferta: 15 Días Entrega 20 a 30 días Formas de Pago 50% junto a Orden de Compra, 50% a 30 días.				
PATAGÓN TEC LTDA Iván Ulloa Valerio www.patagontec.cl				